CORRELACIÓN ENTRE EL MODULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON MATERIALES PROCEDENTES DEL RIO COELLO PARA EL CONTROL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

EDWIN JESÚS CÁRDENAS FIERRO
JOHN LEWIS LOZANO CORTES

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
GIRARDOT
2016

CORRELACIÓN ENTRE EL MODULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON MATERIALES PROCEDENTES DEL RIO COELLO PARA EL CONTROL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

EDWIN JESÚS CÁRDENAS FIERRO
JOHN LEWIS LOZANO CORTES

Trabajo de grado, presentado ante la Universidad Piloto de Colombia como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Directora
SANDRA PINZÓN
Ingeniera Civil

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
GIRARDOT
2016

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Jurado

Girardot, 15 de julio de 2019

Nuestro triunfo de esta meta alcanzada va dedicado a los seres que más queremos, a nuestros padres y hermanos, quienes siempre creyeron en nosotros.

AGRADECIMIENTOS

Inolvidables personas han forjados nuestros destinos y nuestras metas, y darles un agradecimiento es poco pero se lo merecen, como nuestras madres, nuestros padres, nuestros hermanos, quienes desde siempre nos han acompañado en nuestros difíciles y buenos momentos y que sin duda alguna hoy son quienes estarán más felices por la culminación de nuestra carrera.

Pero los hacemos extensivos también a quienes nos legaron siempre sus conocimientos para nuestras vidas personal y profesional, como nuestros profesores, que son muchos, pero de manera especial a las Directivas de la Universidad Piloto de Colombia y a la Ingeniera Sandra Pinzón Galvis, nuestra Directora de Tesis.

A nuestros compañeros de siempre con quienes compartimos todas las aulas y rincones de la universidad, muchas gracias.

Y al Dios todo poderoso por los dones y talentos que nos dio, infinitas gracias.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	5
INTRODUCCIÓN	15
1. JUSTIFICACIÓN	16
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	19
3.2 ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA	19
3.3 PLANTEAMIENTO DE UNA SOLUCIÓN.	20
4. MARCOS DE REFERENCIA	21
4.1 ANTECEDENTES	21
4.2 MARCO CONCEPTUAL	23
4.3 MARCO LEGAL	27
5. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MODULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO CON MATERIALES DEL RIO COELLO.	29
5.1 SECUENCIA DE LA METODOLOGÍA	29
6. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA	30

6.1 TOMA DE MUESTRAS 30

6.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A TRAVÉS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO RESPECTIVOS. 30

6.3 DISEÑO DE LAS DIFERENTES RESISTENCIAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO. 31

6.3.1 Elección del asentamiento 32

6.4 ELABORACIÓN DE LAS VIGUETAS Y CILINDROS DE CONCRETO DE ACUERDO A LAS RESISTENCIAS DISEÑADAS. 46

6.5 ROTURAS DE LAS VIGUETAS Y CILINDROS DE CONCRETO DE ACUERDO A LAS EDADES ESPECIFICADAS. 46

7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN 47

8. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A FLEXIÓN 54

9. PROCEDIMIENTO DE FALLA PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS ESFUERZOS A TENSIÓN 61

9.1 PREPARACIÓN DE LAS VIGUETAS PARA LA ROTURA 63

9.2 INTERPRETACIÓN DE LAS LÍNEAS DE FALLA 65

10. PASOS PARA OBTENER LA ECUACIÓN 67

11. ELABORACIÓN DE GRÁFICAS Y OBTENCIÓN DE LAS ECUACIONES DE CORRELACIÓN. 68

11.1 EJEMPLOS DE CÓMO SE UTILIZAN LAS ECUACIONES DE CORRELACIÓN. 72

11.1.1 Alternativa 1. 72

11.1.2 Alternativa 2. 73

12. CONCLUSIONES. 74

13. RECOMENDACIONES 75

BIBLIOGRAFÍA 76

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Caracterización de los materiales. 31

Tabla 2. Valores de asentamientos recomendados para diversas clases de construcción 32

Tabla 3. Valores recomendados de TMN según tipo de construcción. 34

Tabla 4. Contenido aproximado de aire en el concreto para varios grados de exposición. 37

Tabla 5. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire. 38

Tabla 6. Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación a/c 40

Tabla 7. Valores de b/b0 para diferentes módulos de finura. 42

Tabla 8. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 3.000 PSI. 43

Tabla 9. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 2.000 PSI 44

Tabla 10. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 2.500 PSI. 44

Tabla 11. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 3.500 PSI. 44

Tabla 12. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 4.000 PSI. 45

Tabla 13. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 4.500 PSI. 45

Tabla 14. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 5.000 PSI. 46

Tabla 15. Resistencias a la compresión de 2.000 PSI 47

Tabla 16. Resistencias a la compresión de 2.500 PSI 48

Tabla 17. Resistencias a la compresión de 3.000 PSI 49

Tabla 18. Resistencias a la compresión de 3.500 PSI 50

Tabla 19. Resistencias a la compresión de 4.000 PSI 51

Tabla 20. Resistencias a la compresión de 4.500 PSI. 52

Tabla 21. Resistencias a la compresión de 5.000 PSI. 53

Tabla 22. Resistencias a la flexión de 2.000 PSI. 54

Tabla 23. Resistencias a la flexión de 2.500 PSI. 55

Tabla 24. Resistencias a la flexión de 3.000 PSI. 56

Tabla 25. Resistencias a la flexión de 3.500 PSI. 57

Tabla 26. Resistencias a la flexión de 4.000 PSI. 58

Tabla 27. Resistencias a la flexión de 4.500 PSI. 59

Tabla 28. Resistencias a la flexión de 5.000 PSI. 60

Tabla 29. Valores promedio de MR y F´c a los 7 días. 68

Tabla 30. Valores promedio de MR y F´c a los 14 días. 69

Tabla 31. Valores promedio de MR y F´c a los 28 días. 71

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Deformación del pavimento producido por esfuerzos de tensión y compresión. 16

Figura 2. Máquinas de ensayo a la flexión y a la compresión 26

Figura 3. Elaboración de la prueba del Asentamiento del Concreto. 33

Figura 4. Cuarteo de los materiales agregados. 35

Figura 5. Lavado de los materiales agregados. 35

Figura 6. Secado de los materiales agregados. 36

Figura 7. Tamizado de los materiales agregados. 37

Figura 8. Rotura de cilindros de concreto de 2.000 PSI 47

Figura 9. Rotura de cilindros de concreto de 2.500 PSI. 48

Figura 10. Rotura de cilindros de concreto de 3.000 PSI. 49

Figura 11. Rotura de cilindros de concreto de 3.500 PSI. 50

Figura 12. Rotura de cilindros de concreto de 4.000 PSI. 51

Figura 13. Rotura de cilindros de concreto de 4.500 PSI. 52

Figura 14. Rotura de cilindros de concreto de 5.000 PSI. 53

Figura 15. Rotura de viguetas de concreto de 2.000 PSI. 54

Figura 16. Rotura de viguetas de concreto de 2.500 PSI. 55

Figura 17. Rotura de viguetas de concreto de 3.000 PSI. 56

Figura 18. Rotura de viguetas de concreto de 3.500 PSI. 57

Figura 19. Rotura de viguetas de concreto de 4.000 PSI. 58

Figura 20. Rotura de viguetas de concreto de 4.500 PSI. 59

Figura 21. Rotura de viguetas de concreto de 5.000 PSI. 60

Figura 22. Línea de falla presentada en viga de concreto ensayada en el Laboratorio. 62

Figura 23. Trabazón de los agregados pétreos en el concreto. 62

Figura 24. De los extremos de la sección escogida se trazó una línea vertical distante 1”. 63

Figura 25. La distancia entre las líneas trazadas del numeral anterior se dividió en tres partes. 63

Figura 26. Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simple cargada en los tercios de la luz. 64

Figura 27. Ubicación de los apoyos de carga en una vigueta de concreto Fallada en el laboratorio de prueba. 64

Figura 28. Se llevó a la falla cada vigueta. 65

Figura 29. Rotura de vigueta 66

Figura 22. Pesado del cemento. 85

Figura 23. Pesado del agua. 85

Figura 24. Pesado del agregado fino. 86

Figura 25. Pesado del agregado grueso. 86

Figura 26. Elaboración de cilindros de concreto. 87

Figura 27. Elaboración de viguetas de concreto. 87

Figura 28. Desencofrado de cilindros de concreto. 88

Figura 29. Desencofrado de viguetas de concreto. 88

LISTA DE GRÁFICAS

Pág.

Gráfica 1. Requerimientos de agua de mezclado. 39

Gráfica 2. Curvas de resistencia a la compresión vs relaciones agua/cemento 40

Gráfica 3. Ejemplo de Grafica y ecuación lineal entre MR y F´c a los 28 días. 61

Gráfica 4. Ecuación lineal entre MR y F´c a los 7 días. 68

Gráfica 5. Ecuación potencial entre MR y F´c a los 7 días. 69

Gráfica 6. Ecuación lineal entre MR y F´c a los 14 días. 70

Gráfica 7. Ecuación potencial entre MR y F´c a los 14 días. 70

Gráfica 8. Ecuación lineal entre MR y F´c a los 28 días. 71

Gráfica 9. Ecuación potencial entre MR y F´c a los 28 días. 72

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Caracterización de los materiales. 77

Anexo B. Pesado de los componentes de la mezcla de concreto. 85

Anexo C. Elaboración de Cilindros Y Viguetas. 87

INTRODUCCIÓN

El concreto hidráulico simple o reforzado es altamente utilizado en la construcción de obras civiles por sus características de durabilidad, trabajabilidad, impermeabilidad y resistencia. Este es diseñado para diferentes valores de resistencia a compresión según los elementos estructurales donde se emplee.

El concreto hidráulico está constituido principalmente por una mezcla de agregados pétreos, cemento y agua, cuyas proporciones dependerán de la resistencia de diseño a compresión f´c según las características típicas de la sección, de la distribución de los aceros de refuerzo, del espaciamiento entre varillas de refuerzo, del recubrimiento, de las formaletas, etc, para elementos de sección prismática sometidos a compresión.

Los concretos se diseñan para dos resistencias, a la compresión y a la flexión, las cuales deben ser controladas en campo mediante testigos que serán fallados de acuerdo a las normas vigentes.

Para hacer los controles de la resistencia a la compresión, se elaboran muestras cilíndricas, y para controlar la resistencia a la tensión por flexión se elaboran viguetas y serán falladas a los 7,14 y 28 días.

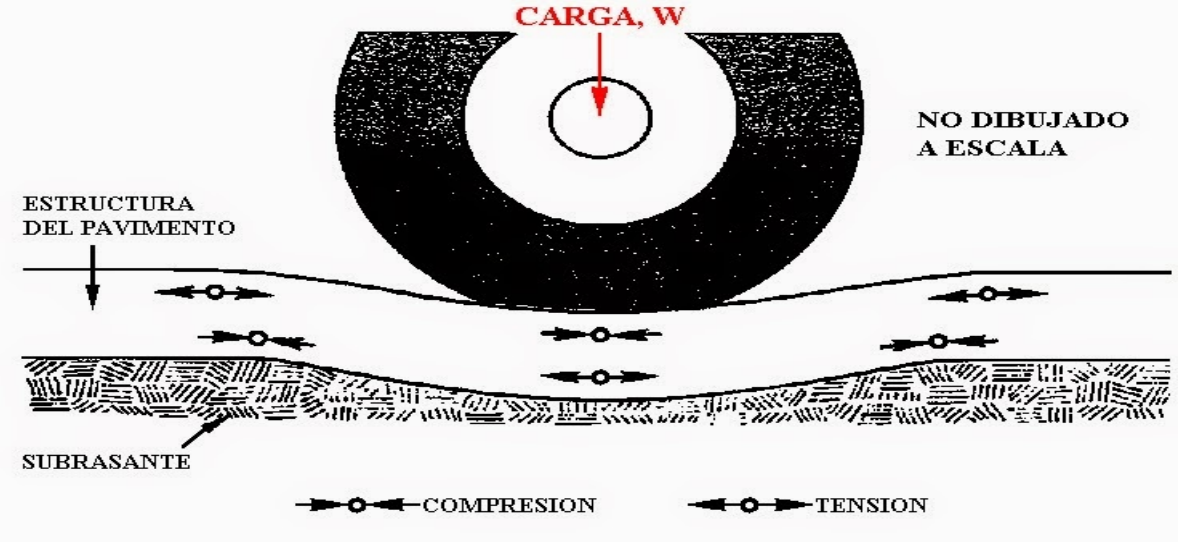
La placa de concreto hidráulico de los pavimentos rígidos, se diseña de acuerdo a las metodologías existentes con la resistencia a la tensión por flexión y se controla este parámetro mediante el ensayo de resistencia a la tensión por flexión. No obstante el ACI permite establecer correlaciones entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión con el propósito de controlar la calidad del concreto de los pavimentos rígidos, utilizando el ensayo de resistencia a la compresión

El presente trabajo de grado establecerá una ecuación que correlacione las dos resistencias mencionadas, permitiendo a través de una de ellas en este caso la resistencia a la compresión determinar la resistencia a la tensión por flexión, para controlar la calidad del concreto del pavimento rígido. Condición que será aprovechada para establecer la relación resistencia a la tensión por flexión - resistencia a la compresión.

1. JUSTIFICACIÓN

La justificación nace de la necesidad+ de controlar la flexo-tracción producida por las cargas no permanentes en la placa de concreto del pavimento rígido tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1. Deformación del pavimento producido por esfuerzos de tensión y compresión.



Fuente: Apuntesingenierocivil.blogspot.com.co

Siendo así, y basados en los conceptos dichos en las metodologías de diseño para ejercer controles en la calidad del concreto del pavimento rígido, será necesario establecer controles confiables a través de la correlación de resistencias a la compresión y a la flexión, en esta investigación, con materiales única y exclusivamente del Rio Coello y cemento tipo1

Teniendo en cuenta lo anterior, se justifica la realización de las siguientes actividades:

Una fase en el laboratorio:

Esta se hará elaborando cilindros y viguetas de la misma resistencia a la compresión desde 2.000 hasta 5.000 psi, empleando materiales del rio Coello, previamente caracterizados y fallados a los 7,14 y 28 días.

Una fase analítica:

Con los resultados obtenidos en la fase de laboratorio se elaboraran graficas de resistencia a la compresión vs resistencia a la tensión por flexión para cada una de las resistencias a los 7,14 y 28 días, con el propósito de observar su comportamiento y establecer la mejor correlación de acuerdo a la curva de tendencia y a su valor r2.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar una ecuación que permita establecer una relación entre la resistencia a la tensión por flexión y la resistencia a la compresión del concreto hidráulico con materiales del rio Coello y cemento Tipo 1.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

❖ Utilizar materiales procedentes del rio Coello y procesados en la planta trituradora de la firma CAYTO TRACTOR S.A.S para el diseño y preparación de los concretos hidráulicos.

❖ Determinar las características de los agregados pétreos, del cemento y del agua de acuerdo a las normas vigentes para el diseño y construcción del pavimento rígido.

❖ Diseñar concretos hidráulicos de resistencias a la compresión desde 2.000 PSI hasta 5.000 PSI con incrementos de 500 psi.

❖ Preparar cilindros y viguetas para cada una de las resistencias de concreto diseñadas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El concreto hidráulico es un producto fundamental para la construcción de gran cantidad de obras civiles que soportan cargas a la compresión tales como edificaciones, locaciones, centrales hidroeléctricas, fuentes y otras de orden menor que exigen cada día ejercer controles que indiquen la calidad de la resistencia para las cuales han sido diseñadas. Las normas estatales han establecido parámetros de control que se ejecutan en campo y se verifican en el laboratorio cuyos resultados serán comparados con las resistencias establecidas. Sin embargo para la construcción de los pavimentos rígidos cuyo principal componente son placas de concreto hidráulico las metodologías de diseño y las normas utilizan como parámetros de diseño y de control la resistencia a la tensión por flexión que exige otras series de controles tanto en campo como en laboratorio que en muchos casos a nivel de la ingeniera nacional no se cuenta con ellos de manera inmediata, razón por la cual se justifica estudiar correlaciones que permitan utilizar la resistencia al compresión como parámetro de control de los pavimentos rígidos.

A lo anterior se adiciona que para lograr los objetivos propuestos es necesario tener en cuenta la calidad de los agregados pétreos, del cemento, del agua y los aditivos si se requiere.

3.2 ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

En la gran mayoría de las obras civiles construidas con concretos hidráulicos, pareciera que no se ejercieran ni los mínimos controles de calidad en lo que tiene que ver con la dosificación de sus componentes, sus asentamientos, sus curados y la toma de muestras para los chequeos de la resistencia. Lo anterior se deduce de una patología visual realizada a pavimentos rígidos recién construidos en los municipios de Melgar, Girardot y Espinal. Sin embargo, uno de los casos más mencionados a nivel nacional y mundial es el deterioro prematuro de las placas de concreto para el rodamiento de los buses de Transmilenio en Bogotá, que a la fecha no se sabe si fallaron por carencia de estudios, por deficiencia en los diseños o por mala construcción.

Pero adicional a lo anterior, uno de los parámetros que más se desconoce en la construcción de las placas de los concretos hidráulicos, es la resistencia a la tensión por flexión del concreto, la cual requiere para su control la elaboración de las viguetas durante la producción del concreto, lo que implica que poco se hace y la calidad del concreto se controla a través de la elaboración de los testigos tipo

cilindro. Lo anterior es grave, si no se han establecido previamente correlaciones tal como lo contextualizan el ACI y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

3.3 PLANTEAMIENTO DE UNA SOLUCIÓN.

Teniendo en cuenta las recomendaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en su manual de diseño de pavimentos de concreto, los antecedentes descritos y los resultados de la inspección visual a los concreto de los pavimentos construidos en la región, se propuso en esta investigación utilizar la resistencia a la compresión para controlar la resistencia de los concretos de los pavimentos rígidos construidos con materiales del rio Coello y cemento tipo 1, determinando una ecuación de correlación entre la resistencia a la tensión por flexión y la resistencia a la compresión.

Posiblemente la determinación de una ecuación no sea desde el punto de vista mecanicista o racional, el mejor, pero como solución práctica se sigue utilizando e implementando para los controles del concreto del pavimento rígido. Las soluciones mecanicistas sin duda alguna son más precisas pero requieren de equipos muy sofisticados, los cuales muy difícilmente se consiguen en la región y en Colombia.

Podría considerarse dentro los métodos mecanicistas controlar la calidad del concreto de un pavimento rígido mediante la tensión residual, la cual se determina mediante los ensayos del método de Galgas, sin embargo esto podría ser objeto de una futura investigación dentro de la universidad.

4. MARCOS DE REFERENCIA

4.1 ANTECEDENTES

En el MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA VÍAS CON BAJOS, MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO, en el anexo 3 están descritas las características para los pavimentos de concreto y textualmente dice lo siguiente: “En los métodos de diseño de pavimentos de concreto, se considera la resistencia a la flexión, medida a 28 días, evaluada mediante su módulo de rotura, siguiendo el método de ensayo de la norma INV E-414-07, como uno de los parámetros que determina el espesor, sin embargo el ensayo que controla ese esfuerzo, es de difícil realización y motivo de grandes discusiones por la poca confiabilidad y gran dispersión en los valores que arrojan el propio ensayo

Por lo dicho, es deseable que con antelación a la construcción se hagan curvas que correlacionen los valores de las resistencias a compresión, obtenidos con el método de ensayo de la norma INV E-410-07, y a flexión realizadas con los materiales que se van a utilizar en la construcción del pavimento y con base en ellas realizar el control de la producción del concreto durante la ejecución de la obra.

También se puede establecer correlaciones entre los ensayos de tracción indirecta y flexión y con ellos hacer correlaciones similares a los que se hacen entre la resistencia a flexión y compresión”. (Londoño Naranjo & Alvarez Pabón, 2008)

En el capítulo 8 del libro Ingeniería de pavimentos en su tomo I del ingeniero Alfonso Montejo Fonseca, en el numeral 8.2, con título MÉTODO DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION **(PCA),** en el aparte dentro de los factores de diseño se refiere a la resistencia del concreto a la flexión, de la siguiente manera: “Esta resistencia se considera en el procedimiento de diseño por el criterio de fatiga, en el cual controla el agrietamiento del concreto bajo la acción repetida de las cargas de los vehículos pesados.

Las deformaciones que sufre un pavimento de concreto bajo las cargas de transito producen tanto esfuerzos de compresión como de tensión. Sin embargo, la relación entre los primeros y la resistencia a la compresión del concreto es demasiada baja, como para afectar el diseño del espesor de la losa. La relación entre los segundos y la resistencia a la flexión es mucho mayor, llegando frecuentemente a valores mayores de 0,5. Como resultado de ello los esfuerzos y la resistencia a la flexión, son los factores que se deberán considerar en el diseño de un pavimento.

El presente método utiliza la resistencia a la flexión, medida por ensayos de módulo de rotura sobre vigas de 15x15x75 cm, cargándolas en los tercios de la luz, para un periodo de curado de 28 días" (Montejo, 2008)

En el numeral 8.3 MÉTODO DE LA AASHTO, en su ecuación de diseño para la determinación del espesor del pavimento utiliza la resistencia media del concreto o flexotracción a los 28 días (método de carga en los dos tercios de la luz). (Montejo, 2008)

El módulo de ruptura del concreto hidráulico es fundamental para el diseño de losas de pavimento. Este módulo es obtenido teóricamente por medio del producto de un factor "K" y la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión del concreto hidráulico. Con este objetivo la investigación se centró en la identificación del valor "K" por medio del análisis del concreto hidráulico pre mezclado distribuido por la empresa CONETSA. Se inició con el diseño de mezclas con una resistencia a la compresión especificada en un rango de 2.000 a 7.000 psi, por medio del muestreo de estas se realizaron pruebas a compresión y flexión a los 3,7 y 28 días, con estos datos se identificó que la calidad de las mezclas realizadas es alta y esto permite la optimización del diseño de losas simples para pavimentos rígidos. (Silva, Pavón, & Hernández, 2013)

Una conclusión importante de esta investigación es que la relación-agua cemento es un factor determinante para la resistencia del concreto. Al momento de hacer el diseño de la mezcla, esta relación se obtiene de una forma teórica y puede sufrir cambios según las condiciones en que se encuentren los materiales en el sitio y la consistencia que la mezcla presenta al momento de elaborarla. (Silva, Pavón, & Hernández, 2013)

La calidad del concreto representa un parámetro fundamental en el correcto desarrollo de las obras civiles modernas. La resistencia a flexión y a compresión son indicadores del desempeño que presenta un concreto preparado luego de cumplir satisfactoriamente su ciclo de fraguado. En la práctica, los ensayos de flexión requieren la elaboración de muestras más costosas que las utilizadas en los ensayos de compresión y con cuidados especiales en su manejo y transporte al sitio de ensayos. Por esta razón, es más común el uso de ensayos de compresión para determinar la calidad del concreto preparado. Sin embargo, en concretos para pavimentos, es vital conocer el desempeño de este a la flexión. En la práctica, es común utilizar la relación directa que existe entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión para obtener los valores de la resistencia a la flexión mediante una relación matemática a partir de los valores obtenidos de resistencias a la compresión para obtener un modelo del comportamiento a flexión. (Garcia C. , 2010)

Esta relación matemática obtenida experimentalmente para el caso particular de la planta PREVESA y expresada por la ecuación Mr = 2,39 * $\sqrt{f'c}$ esta validada por la relación planteada por el Instituto del Concreto ASOCRETO en el año 2000, donde Mr es la resistencia a la flexión y f´c es la resistencia a la compresión, ecuación que se encuentra dentro los límites establecidos por dicho instituto. (Garcia C. , 2010)

En su libro de concreto simple del ingeniero Gerardo A. Rivera L. en su numeral 6.6 establece correlaciones entre la resistencia a la flexión y resistencias a la compresión y tensión en el cual concluye que el módulo de rotura presenta valores que varían entre un 10% y un 20% de la resistencia a la compresión. Una relación aproximada que puede utilizarse cuando no se disponga de ensayos de flexión es la siguiente:

$$\boldsymbol{MR = k(RC)^{1/2}}$$

Donde:

MR= Modulo de rotura estimado para el concreto (kg/cm²).
RC= Resistencia a la compresión obtenida del concreto (kg/cm²).
K= Constante que varía normalmente entre 2,0 y 2,7 para resistencias en kg/cm² a 28 días. (Rivera L.)

En el artículo, El Concreto En La Práctica, en su capítulo CIP 16 – Resistencia a flexión del concreto menciona cuales son los problemas con la flexión donde puntualiza que los ensayos a flexión son extremadamente sensibles a la preparación, manipulación y procedimientos de curado de las probetas. Las vigas son muy pesadas y puedes ser dañada cuando se manipulan y transportan desde el lugar de trabajo hasta el laboratorio. Permitir que una viga se seque dará como resultado más bajas resistencias. Las vigas deben ser curadas de forma normativa, y ensayadas mientras se encuentren húmedas. El cumplimiento de todos estos requerimientos en el lugar de trabajo es extremadamente difícil lo que da frecuentemente como resultados valores de Módulo de Rotura no confiables y generalmente bajos. (NRMCA)

4.2 MARCO CONCEPTUAL

PAVIMENTO. El pavimento es una obra civil compuesta por una o más capas construidas sobre un suelo de cimentación llamado subrasante, donde la calidad de las propiedades de los materiales van de mayor a menor con el propósito de disipar adecuadamente los esfuerzos y deformaciones producidas por el tránsito, por el

peso propio de la estructura, y por los agentes del intemperismo para no afectar la capacidad portante del cimiento.

El pavimento como sistema esta caracterizado por las propiedades, espesores y disposicion de los materiales, asi como por la calidad de la construcción, en la cual tiene gran importancia las especificaciones, la supervisión de la obra y el control de calidad ejercido.

El pavimento proporciona la superficie de rodamiento para que los vehículos transiten con rapidez, seguridad y comodidad.

PAVIMENTO RÍGIDO. Es aquel que fundamentalmente está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre una subrasante o sobre una capa de material granular, la cual se denomina Subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se producen en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en ciertos grados, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejercen poca influencia en el espesor del pavimento. (Montejo, 2008)

CONCRETO HIDRÁULICO. El concreto hidráulico es básicamente una mezcla de cemento Portland, arena, grava, agua y en ocasiones aditivos, dosificados de acuerdo al diseño de su resistencia y que forman una masa semejante a una roca que se endurece progresivamente hasta alcanzar su máxima resistencia a los 28 días.

LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO. Es la parte que soporta directamente la solicitación del tránsito y aporta las características funcionales. Estructuralmente, es la encargada de absorber los esfuerzos horizontales y verticales, ya que resiste la aplicación directa de las cargas. En condiciones de alta intensidad de transito puede llegar a alcanzar espesores importantes.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f´c. La resistencia a la compresión del concreto es la base para calcular el dimensionamiento y el refuerzo de los diferentes elementos de una obra en concreto. Es la característica mecánica principal del concreto sometido a esfuerzos de cargas axiales de compresión antes de llegar a la falla.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN O MÓDULO DE ROTURA. Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos. Es la

medida del esfuerzo que se produce en la línea de influencia de tensión que se desarrolla al someter una viga a la flexión, o en las placas de concreto hidráulico de los pavimentos rígidos al paso de las cargas vehiculares.

CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. Relación confiable que permite determinar modelos matemáticos que permite evaluar los concretos para los pavimentos basados en los datos obtenidos a través de la resistencia a la compresión y a la flexión.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa no reforzada. Se mide mediante la aplicación de carga a vigas de concreto de 150 mm x 150 mm de sección transversal y con una luz de tres veces el espesor.

La resistencia a la flexión de vigas se expresa Mpa, Kg/cm^2, y el ensayo se realiza de acuerdo a las exigencias de la norma NTC 2871. (Osorio, 2013)

ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. El ensayo de resistencia a la compresión del concreto consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de este.

El ensayo a la compresión se realiza de acuerdo a las exigencias de la norma INV.E -410; NTC 550 y 673.

MÁQUINAS DE ENSAYO. Son prensas hidráulicas especiales con un medidor de carga digitalizado cada uno constituido para realizar el ensayo a la flexión y el ensayo a la compresión.

Figura 2. Máquinas de ensayo a la flexión y a la compresión

Fuente Los Autores

DISEÑO DE LA RESISTENCIA DE UN CONCRETO. Es el proceso mediante el cual se determinan las proporciones de cemento, arena, grava y agua, de acuerdo a sus características y criterios de calidad para una especificada resistencia a la compresión que tenga la suficiente trabajabilidad, resistencia y durabilidad.

RELACIÓN AGUA/CEMENTO. Es el valor que nos permite optimizar la cantidad de agua y cemento que requiere determinada resistencia a la compresión de acuerdo a su diseño, teniendo en cuenta el peso del agua y el peso del cemento.

Tiene una gran importancia en la calidad del concreto producido, principalmente en su manejabilidad, su asentamiento y resistencia.

ASENTAMIENTO DEL CONCRETO. Es la consistencia o fluidez del concreto fresco. Es medido en el cono de Abrams o slump y se le conoce también como revenimiento.

El ensayo de asentamiento fue desarrollado para monitorear la consistencia del concreto no endurecido.

4.3 MARCO LEGAL

Decreto 340 del 2012 promulgado por el gobierno nacional mediante el cual se modifica parcialmente el reglamento de construcciones sismo resistentes NSR-10.

Resolución número 3288 de 15 de agosto del 2007 y complementarios año 2013 “Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras del Instituto Nacional de Vías INVIAS”, Articulo 630

Resolución número 0001375 de 26 de mayo de 2014 mediante la cual se actualizan todas las normas de ensayos para materiales para carreteras.

Resolución número 0001376 de 26 de mayo de 2014 mediante la cual se actualizan todas las especificaciones generales para la construcción de carreteras.

Norma técnica NTC colombiana 121 especificaciones de desempeño para cemento hidráulico.

Norma técnica NTC colombiana 4926 cementos. Método de ensayo para determinar el sulfato soluble en agua en mortero de cemento hidráulico hidratado.

ICONTEC -98 Establecer el método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos hasta de 38,1mm, utilizando la máquina de los Ángeles.

ICONTEC- 110 Establecer el método de ensayo para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico el aparato de Vicat.

ICONTEC- 118 Establecer el método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat

ICONTEC- 129 Establece los procedimientos para extraer y enviar muestras representativas de los agregados pétreos naturales para hormigones y morteros.

ICONTEC-176 Establece el método para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso.

ICONTEC-221 Establece el método de ensayo para determinar el peso específico del cemento hidráulico.

ICONTEC-226 Método de ensayo para determinar la finura del cemento hidráulico sobre los tamices Icontec 74 u y 149u.

INCONTEC-237 Establecer el método para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino.

ICONTEC- 673 Establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia a compresión de cilindros normales de hormigón.

ASTM D 854-58 Familiarizar al estudiante con el método general de obtención de la gravedad especifica de la masa de cualquier material compuesto por partículas pequeñas cuya gravedad especifica sea mayor que 1.00. Esta práctica es aplicable específicamente a suelos y agregados finos como los utilizados en mezclas de concreto y asfalto.

5. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MODULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO CON MATERIALES DEL RIO COELLO.

5.1 SECUENCIA DE LA METODOLOGÍA

Toma de muestras de arena y grava en la planta CAYTO TRACTOR S.A.S.

Selección de tipo de cemento.

Caracterización de las propiedades de los materiales en el laboratorio, de acuerdo a la normatividad vigente.

Diseño de las resistencias a la compresión que van desde 2.000 psi hasta 5.000 psi, empleando la metodología del Instituto Americano del Concreto **(ACI).**

Elaboración de viguetas y cilindros de concreto con cada una de las resistencias diseñadas.

Falla de las muestras elaboradas a los 7,14 y 28 días de edad.

Obtención de resultados.

Pasos para la obtención de ecuación y elaboración de gráficas.

Ejemplos de uso.

Conclusiones.

6. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA

6.1 TOMA DE MUESTRAS

De los acopios de los materiales procesados en la planta trituradora de la empresa CAYTO TRACTOR S.A.S, se tomaron muestras de arena y grava y se llevaron al laboratorio plenamente identificadas.

El cemento utilizado para la elaboración de los diseños es el cemento Argos tipo I.

6.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A TRAVÉS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO RESPECTIVOS.

Para la caracterización de los materiales se realizaron los siguientes ensayos:

- Granulometría (NTC 77).
- Peso unitario suelto (NTC 92).
- Peso unitario compactado (NTC 92).
- Contenido de materia orgánica (NTC 127).
- Pesos específicos saturado y superficialmente seco de la grava (NTC 176), y la arena (NTC 237).
- Absorción (NTC 237 para agregado fino; NTC 176 para agregado grueso).
- Humedad natural (NTC 1776).
- Determinación de la dureza al rayado de los agregados gruesos (NTC183).
- Determinación de la resistencia a la abrasión de los agregados. (NTC 966).
- Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto (NTC 396).

En la tabla 1 se presenta el resume de los resultados obtenidos en los ensayos realizados a los agregados utilizados en la presente investigación.

Tabla 1. Caracterización de los materiales.

Datos	Grava	Arena
Densidad Aparente	2,74 gr/cm3	1,52 gr/cm3
Densidad Nominal	2,59 gr/cm3	1,68 gr/cm3
Absorción	1,47	6,50
Masa Unitaria Suelta	1,516 gr/cm3	1,669 kg/cm3
Masa Unitaria Compacta	1,626 gr/cm3	1,793 kg/cm3
Módulo de Finura	_	3,3
Humedad Natural	1,0	3,2
Desgaste	25,36	
Equivalente de Arena		76,0

6.3 DISEÑO DE LAS DIFERENTES RESISTENCIAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO.

Los diseños de las diferentes resistencias del concreto hidráulico fueron elaborados de acuerdo al método A.C.I (Instituto Americano del Concreto).

A continuación se ilustra un ejemplo de diseño para la resistencia a la compresión de 3.000 PSI, teniendo en cuenta los criterios de diseño del Instituto Americano del Concreto (ACI).

La secuencia de pasos para la dosificación de mezclas:

Elección del asentamiento – Tabla No.2
⇩
Elección del tamaño máximo nominal (TMN) – Tabla No. 3
⇩
Estimación del contenido de aire – Tabla No.4
⇩
Estimación de la cantidad de agua de mezclado – Tabla No. 5 y Grafica No. 1
⇩
Elección la relación agua/cemento (a/c) – Tabla No. 6 y Grafica No. 2
⇩
Calculo del contenido de cemento
⇩
Estimación el contenido de grava
⇩
Estimar el contenido de arena

Se tomaron como datos de entrada para el presente diseño los valores estimados en la tabla 1.

6.3.1 Elección del asentamiento. Los valores de asentamientos recomendados se muestran en la tabla 2. Para nuestra investigación se seleccionó el asentamiento comprendido entre 5 y 10 cms, utilizado para grado de trabajabilidad medio.

Tabla 2. Valores de asentamientos recomendados para diversas clases de construcción

Asentamiento (cm)	Consistencia (Tipo De Concreto)	Grado De Trabajabilidad	Tipo De Estructura Y Condiciones De Colocación
0 - 2,0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibradores de formaleta.
2,0 - 3,5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con maquina mecánica.
3,5 - 5,0	Semi-seca	Pequeño	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto

Asentamiento (cm)	Consistencia (Tipo De Concreto)	Grado De Trabajabilidad	Tipo De Estructura Y Condiciones De Colocación
			simple. Pavimentos con vibradores normales.
5,0 - 10,0	**Media**	**Medio**	**Losas medianamente reforzadas y pavimentos compactados a mano columnas, vigas, fundaciones y muros con vibración.**
10,0 - 15,0	Humedad	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación será difícil. Revestimientos de túneles. No recomendable para compactarlos con demasiada vibración.

Figura 3. Elaboración de la prueba del Asentamiento del Concreto.

Elaboracion de la prueba del slump.

Asentamiento de 8,0 cm.

Asentamiento de 7,5 cm.

Asentamiento de 8,5 cm.

Fuente Los Autores

Elección del tamaño máximo nominal (TMN). En la tabla 3, se muestran valores recomendados para la selección del TMN de acuerdo con el tipo de construcción y la dimensión mínima del elemento.

Para nuestra investigación se seleccionó un TMN de 3/4”.

Tabla 3. Valores recomendados de TMN según tipo de construcción.

Dimensión Mínima Del Elemento (Cm)	Tamaño Máximo Nominal En " Pulg			
	Muros Reforzados, Vigas Y Columnas	Muros Sin Refuerzo	Losas Muy Reforzadas	Losas Sin Refuerzo O Poco Refuerzo
6. - 15	12 (1/2") - 19 (3/4")	19 (3/4")	19 (3/4") - 25 (1")	**19 (3/4") - 38 (11/2")**
19 - 29	19 (3/4") - 38 (11/2")	38 (11/2")	38 (11/2")	38 (11/2") - 76 (3")
30 - 74	38 (11/2") - 76 (3")	76 (3")	38 (11/2") - 76 (3")	76 (3")
75 o más	38 (11/2") - 76 (3")	152 (6")	38 (11/2") - 76 (3")	76 (3") -152 (6")

Figura 4. Cuarteo de los materiales agregados.

Cuarteo del agregado fino Cuarteo del agregado grueso

Fuente Los Autores

Figura 5. Lavado de los materiales agregados.

Lavado del agregado fino.

Lavado del agregado grueso.

Fuente Los Autores.

Figura 6. Secado de los materiales agregados.

Secado del agregado fino.

Fuente Los Autores.

Figura 7. Tamizado de los materiales agregados.

Tamizado del agregado grueso. Tamizado del agregado fino.

Fuente Los Autores.

Estimación del contenido de aire. El contenido de aire para mezclas de concreto se presenta en la tabla 4, cuando se requiera.

Para esta investigación no se empleará el uso del contenido de aire, ya que el concreto hidráulico que se está diseñando no estará expuesto a ambientes agresivos ni a ciclos de congelamiento y deshielo.

Tabla 4. Contenido aproximado de aire en el concreto para varios grados de exposición.

Agregado grueso		Porcentaje promedio aproximado de aire atrapado	Porcentaje promedio total de aire recomendado para los siguientes grados de exposición		
Pulg.	mm.		Suave	Moderado	Severo
3/8	9.51	2.70	4.50	6.00	7.50
½	12.50	2.50	4.00	5.50	7.00
¾	**19.10**	2.00	3.50	5.00	6.50
1	25.40	1.70	3.00	4.50	6.00
1 ½	38.10	1.50	2.50	4.50	5.50

Agregado grueso		Porcentaje promedio aproximado de aire atrapado	Porcentaje promedio total de aire recomendado para los siguientes grados de exposición		
Pulg.	mm.		Suave	Moderado	Severo
2	50.80	1.00	2.00	4.00	5.00
3	76.10	0.30	1.50	3.50	4.50
6	152.40	0.20	1.00	3.00	4.00

Estimación de la cantidad de agua de mezclado. En la tabla 5 se puede apreciar que la cantidad de agua que se requiere para producir un asentamiento dado depende: del tamaño máximo del agregado, la forma, la textura de las partículas, y si el concreto a diseñar contiene aire o no.

Para la presente investigación se seleccionó el contenido de agua de 200 Lts.

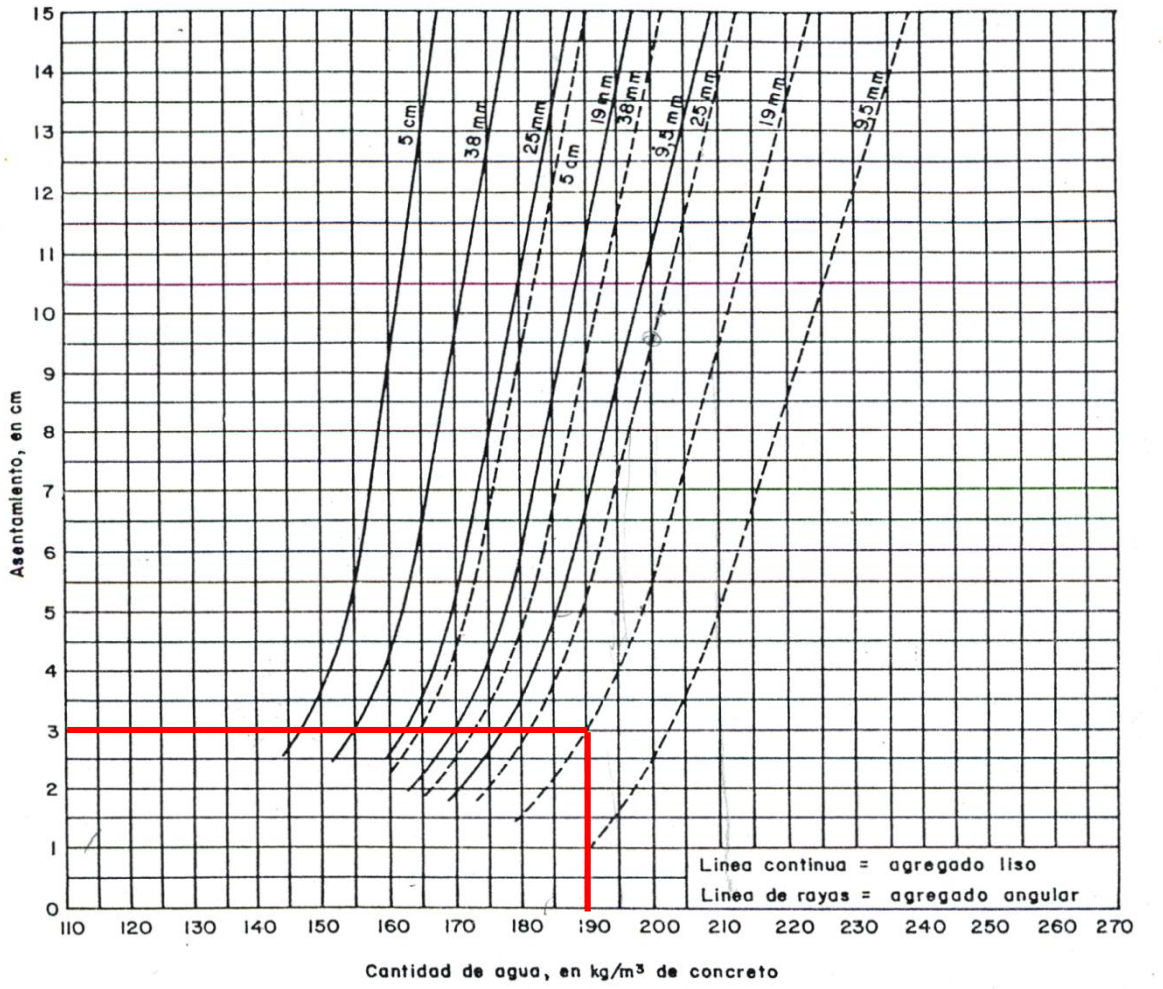
Tabla 5. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire.

CONDICIONES DEL CONTENIDO DE AIRE	ASENTAMIENTO (cm)	AGUA EN m3/M3 DE CONCRETO PARA LOS TMN DE AGREGADO INDICADOS							
		10	12.5	**20**	25	40	50	70	150
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	6 a 10	225	215	**200**	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	-----
	Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	6 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
	15 a 18	215	205	195	185	170	165	160	-----
	Promedio recomendable de contenido total de aire por ciento.	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Otra forma de obtener el contenido de agua es empleando la gráfica 1, la cual tiene en cuenta el asentamiento y TMN del agregado.

De la gráfica se obtuvo 190 Lts

Gráfica 1. Requerimientos de agua de mezclado.



De los dos valores anteriores se toma 200 Lts por metro cubico de concreto para el diseño de concreto con una resistencia de 3.000 PSI.

Elección de la relación a/c. La elección de la relación agua/cemento a/c depende básicamente de la resistencia y la durabilidad.

El método ACI utiliza la tabla 6 que relaciona la resistencia a la compresión y la relación agua/cemento.

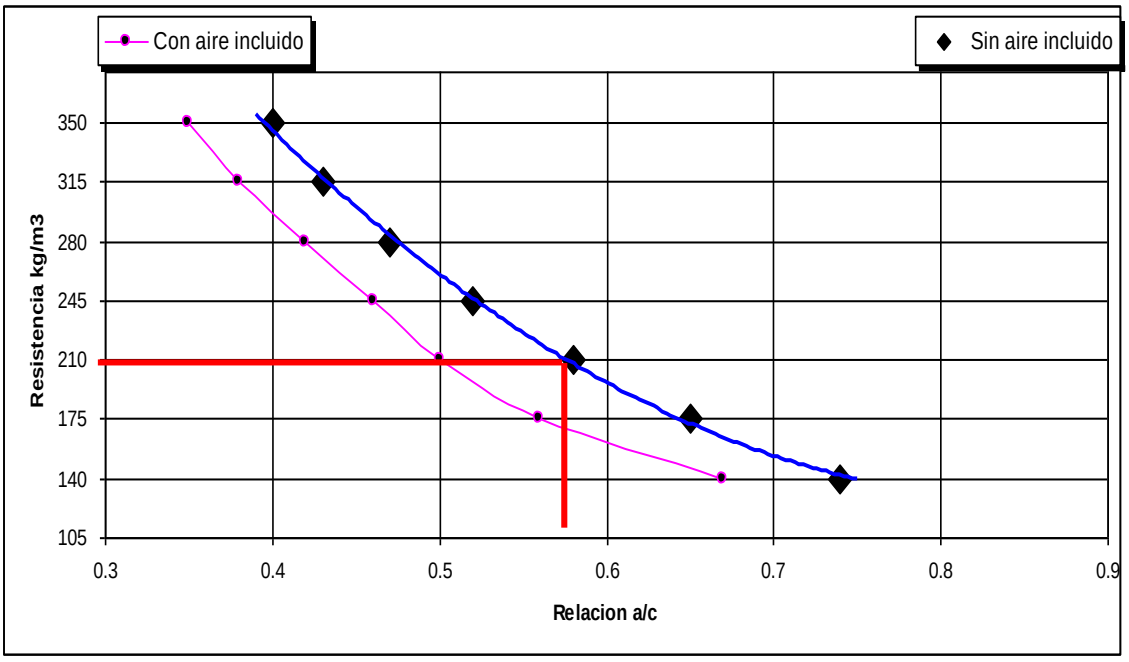
Para nuestra investigación se seleccionó una relación agua cemento de 0,58.

Tabla 6. Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación a/c

Resistencia a la compresión a los 28 días en Kg/cm2 (psi)	Concreto Sin Inclusor De Aire Relación Absoluta Por Peso	Concreto Con Inclusor De Aire Relación Absoluta Por Peso
175 (2500)	0.65	0.56
210 (3000)	**0.58**	0.50
240 (3500)	0.52	0.46
280 (4000)	0.47	0.42
315 (4500)	0.43	0.38
350 (5000)	0.40	0.35

También se puede obtener la relación agua/cemento de la gráfica 2

Gráfica 2. Curvas de resistencia a la compresión vs relaciones agua/cemento



.

Calculo del contenido de cemento. El contenido de cemento se calculó así:

Ecuación 1. $r = \frac{a}{c}$

Ecuación 2. $C = \frac{a}{r}$

Dónde:

r= Relación agua/cemento 0,58
a= Cantidad de Agua (Lts). 200
c= Cantidad de cemento

$C = \frac{200}{0.58} = 344.83$ Kg/M³ de concreto

Volumen de cemento por metro cubico (m3) de concreto. El volumen del cemento se determina así:

Ecuación 3. $VC = \frac{c}{Dcem}$

Dónde:

c= Cantidad de cemento (Kg/M³ de concreto)
Dcem= Densidad del cemento.
VC= Volumen del cemento por metro cubico de concreto

$VC = \frac{344.83}{3100} = 0.111 m^3/M^3$ de concreto.

Estimación del contenido de grava. Para determinar el volumen de grava por M³ de concreto se procedió, así:

De la caracterización de la arena en el laboratorio se obtuvo un módulo de finura de 3,3

Tabla 7. Valores de b/b0 para diferentes módulos de finura.

Tamaño Máximo Nominal Del Agregado (Mm)	Volumen Del Agregado Grueso Seco Y Apisonado Por Unidad De Volumen De Hormigón Para Diferentes Módulos De Finura De La Arena													
	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3
9.5	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37
12.5	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46
19.0	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	**0.56**
20.0	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61
38.0	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67
50.0	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70
75.0	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.8	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75
150.0	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81

Para un Módulo de Finura de arena de 3,3 y un TMN de 19,05 mm (3/4") se obtiene de la tabla 7 un valor de: b/b0 0,56

De la ecuación se obtiene que:

Ecuación 4. $Bo = \frac{MUC}{dg}$

Dónde:
MUC= Masa Unitaria Compacta
dg= Densidad Aparente de Agregado Grueso
De los resultados del laboratorio:
MUC= 1.626 Kg/m³
dg= 2.740 Kg/m³

$$Bo = \frac{1.626\,\mathrm{Kg/m3}}{2.740\,\mathrm{Kg/m3}} = 0.593 \approx 0.60$$

Bo= 0,60

Por lo que el volumen de la grava por metro cubico de concreto (b) será:

Ecuación 5. $b = \frac{b}{bo} * Bo$

b = 0,56 x 0,60
b = 0,336 m³/M³ de concreto.

Estimación del contenido de arena. El volumen de arena será el complemento de la suma del volumen de los ingredientes ya encontrados por un metro cubico, ósea:

Volumen de arena= 1- (aire + agua + cemento + grava) m³/M³

Dónde:
Vaf= Volumen de agregado fino.
Vaf = 1 – (0 + 0.200 + 0,111 + 0,336)
Vaf = 0,353 m³/M³ de concreto.
Calculo de las proporciones de los materiales agregados pétreos en peso.
Peso de la grava= 0.336m³*2740kg/m³ = 920.64 Kg/M³ de concreto.
Peso de la arena= 0.353m³*1520Kg/m³= 536.56 Kg/ M³ de concreto.

Tabla 8. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 3.000 PSI.

Material	Peso	Densidad	Volumen	Proporciones	Proporciones
	$w, kg/m^3$	$d, kg/m^3$	$v, m^3/m^3$	kg/m^3	$v, m^3/m^3$
Cemento	344.83	3100	0.111	1.00	1.00
Aire	0	0	0	1.56	3.18
Agua	200	1000	0.200	2.67	3.02
Arena	536.56	1520	0.353		
Grava	920.64	2740	0.336		
Total	2002.03		1.00 m^3		

Tabla 9. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 2.000 PSI

Material	Peso	Densidad	Volumen	Proporciones	Proporciones
	$w, kg/m^3$	$d, kg/m^3$	$v, m^3/m^3$	kg/m^3	$v, m^3/m^3$
Cemento	277.78	3100	0.090	1.00	1.00
Aire	0	0	0	2.07	4.20
Agua	200	1000	0.200	3.31	3.73
Arena	574.67	1520	0.378		
Grava	920.64	2740	0.336		
Total	1973.09		1.00 m^3		

Tabla 10. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 2.500 PSI.

Material	Peso	Densidad	Volumen	Proporciones	Proporciones
	$w, kg/m^3$	$d, kg/m^3$	$v, m^3/m^3$	kg/m^3	$v, m^3/m^3$
Cemento	307.69	3100	0.099	1.00	1.00
Aire	0	0	0	1.82	3.72
Agua	200	1000	0.200	2.99	3.39
Arena	560.00	1520	0.368		
Grava	920.6	2740	0.33		
Total	1988.33		1.00 m^3		

Tabla 11. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 3.500 PSI.

Material	Peso	Densidad	Volumen	Proporciones	Proporciones
	$w, kg/m^3$	$d, kg/m^3$	$v, m^3/m^3$	kg/m^3	$v, m^3/m^3$
Cemento	384.62	3100	0.124	1.00	1.00
Aire	0	0	0	1.36	2.77
Agua	200	1000	0.200	2.39	2.71
Arena	522.29	1520	0.344		
Grava	920.64	2740	0.336		
Total	2027.55		1.00 m^3		

Tabla 12. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 4.000 PSI.

Material	Peso	Densidad	Volumen	Proporciones	Proporciones
	$w, kg/m^3$	$d, kg/m^3$	$v, m^3/m^3$	kg/m^3	$v, m^3/m^3$
Cemento	425.53	3100	0.137	1.00	1.00
Aire	0	0	0	1.18	2.41
Agua	200	1000	0.200	2.16	2.45
Arena	502.22	1520	0.330		
Grava	920.64	2740	0.336		
Total	2038.31		1.00 m^3		

Tabla 13. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 4.500 PSI.

Material	Peso	Densidad	Volumen	Proporciones	Proporciones
	$w, kg/m^3$	$d, kg/m^3$	$v, m^3/m^3$	kg/m^3	$v, m^3/m^3$
Cemento	465.12	3100	0.150	1.00	1.00
Aire	0	0	0	1.04	2.12
Agua	200	1000	0.200	1.98	2.24
Arena	482.81	1520	0.318		
Grava	920.64	2740	0.336		
Total	2058.49		1.00 m^3		

Tabla 14. Cantidades para 1 m^3 de la mezcla de 5.000 PSI.

Material	Peso	Densidad	Volumen	Proporciones	Proporciones
	$w, kg/m^3$	$d, kg/m^3$	$v, m^3/m^3$	kg/m^3	$v, m^3/m^3$
Cemento	500.00	3100	0.161	1.00	1.00
Aire	0	0	0	0.93	1.90
Agua	200	1000	0.200	1.82	2.09
Arena	465.71	1520	0.306		
Grava	910.56	2740	0.336		
Total	2076.27		1.00 m^3		

6.4 ELABORACIÓN DE LAS VIGUETAS Y CILINDROS DE CONCRETO DE ACUERDO A LAS RESISTENCIAS DISEÑADAS.

Se elaboraron 6 viguetas y 6 cilindros para cada una de las resistencias diseñadas para un total de 84 muestras, de acuerdo a las normas INVIAS E-402-13 numeral 3.2.1 y E-402-13 numeral 3.2.2, para ser fallados a los 7, 14 y 28 días.

6.5 ROTURAS DE LAS VIGUETAS Y CILINDROS DE CONCRETO DE ACUERDO A LAS EDADES ESPECIFICADAS.

Tanto para las viguetas como para los cilindros se fallaron dos muestras para cada edad especificada, a los 7, 14 y 28 días.

7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN

Tabla 15. Resistencias a la compresión de 2.000 PSI

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA INV - E - 410-07													
Cilindro No.	Slump (cm)	Fecha de fundida	Fecha de Rotura	Edad (días)	Carga total aplicada		Area	Resistencia		Resistencia de Diseño		Porcentaje	Promedio
					*KN	Kgf.	cm^2	Kg/cm2	PSI	Kg/cm2	PSI	%	Kg/cm2
1	7.5	22/09/2015	29/09/2015	7	163.8	16691	182.42	91.5	1307	140	2000	65.36	99.71
2	7.5	22/09/2015	29/09/2015	7	193.2	19687	182.42	107.9	1542	140	2000	77.09	
3	7.5	22/09/2015	6/10/2015	14	244.0	24864	182.42	136.3	1947	140	2000	97.36	129.88
4	7.5	22/09/2015	6/10/2015	14	221.0	22520	182.42	123.5	1764	140	2000	88.18	
5	7.5	22/09/2015	20/10/2015	28	273.1	27829	182.42	152.6	2179	140	2000	108.97	153.31
6	7.5	22/09/2015	20/10/2015	28	275.8	28104	182.42	154.1	2201	140	2000	110.05	

Figura 8. Rotura de cilindros de concreto de 2.000 PSI

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA COLUMNAR

Tabla 16. Resistencias a la compresión de 2.500 PSI

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA INV - E - 410-07													
Cilindro No.	Slump (cm)	Fecha de fundida	Fecha de Rotura	Edad (días)	Carga total aplicada		Area	Resistencia		Resistencia de Diseño		Porcentaje	Promedio
					*KN	Kgf.	cm^2	Kg/cm2	PSI	Kg/cm2	PSI	%	Kg/cm2
1	7.5	23/09/2015	30/09/2015	7	258.4	26331	182.42	144.3	2062	175	2500	82.48	144.96
2	7.5	23/09/2015	30/09/2015	7	260.6	26555	182.42	145.6	2080	175	2500	83.19	
3	7.5	23/09/2015	7/10/2015	14	300.4	30611	182.42	167.8	2397	175	2500	95.89	167.14
4	7.5	23/09/2015	7/10/2015	14	298.0	30366	182.42	166.5	2378	175	2500	95.12	
5	7.5	23/09/2015	21/10/2015	28	329.2	33545	182.42	183.9	2627	175	2500	105.08	187.97
6	7.5	23/09/2015	21/10/2015	28	343.8	35033	182.42	192.1	2744	175	2500	109.74	

Figura 9. Rotura de cilindros de concreto de 2.500 PSI.

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA COLUMNAR

Tabla 17. Resistencias a la compresión de 3.000 PSI

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA INV - E - 410-07													
Cilindro No.	Slump (cm)	Fecha de fundida	Fecha de Rotura	Edad (días)	Carga total aplicada		Area	Resistencia		Resistencia de Diseño		Porcentaje	Promedio
					*KN	Kgf.	cm^2	Kg/cm2	PSI	Kg/cm2	PSI	%	Kg/cm2
1	7.5	24/09/2015	1/10/2015	7	302.1	30784	182.42	168.8	2411	210	3000	80.36	166.47
2	7,5	24/09/2015	1/10/2015	7	293.9	29948	182.42	164.2	2345	210	3000	78.18	
3	7,5	24/09/2015	8/10/2015	14	363.3	37020	182.42	202.9	2899	210	3000	96.64	198.53
4	7.5	24/09/2015	8/10/2015	14	347.5	35410	182.42	194.1	2773	210	3000	92.44	
5	7.5	24/09/2015	22/10/2015	28	401.8	40943	182.42	224.5	3206	210	3000	106.88	228.14
6	7.5	24/09/2015	22/10/2015	28	415.0	42289	182.42	231.8	3312	210	3000	110.39	

Figura 10. Rotura de cilindros de concreto de 3.000 PSI.

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA TRANSVERSAL Y CÓNICA

Tabla 18. Resistencias a la compresión de 3.500 PSI

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA INV - E - 410-07													
Cilindro No.	Slump (cm)	Fecha de fundida	Fecha de Rotura	Edad (días)	Carga total aplicada		Area	Resistencia		Resistencia de Diseño		Porcentaje	Promedio
					*KN	Kgf.	cm^2	Kg/cm2	PSI	Kg/cm2	PSI	%	Kg/cm2
1	7.5	24/09/2015	1/10/2015	7	301.5	30723	182.42	168.4	2406	245	3500	68.74	168.87
2	7,5	24/09/2015	1/10/2015	7	303.1	30886	182.42	169.3	2419	245	3500	69.11	
3	7,5	24/09/2015	8/10/2015	14	380.7	38793	182.42	212.7	3038	245	3500	86.80	213.59
4	7.5	24/09/2015	8/10/2015	14	384.0	39130	182.42	214.5	3064	245	3500	87.55	
5	7.5	24/09/2015	22/10/2015	28	481.5	49065	182.42	269.0	3842	245	3500	109.79	265.18
6	7.5	24/09/2015	22/10/2015	28	467.9	47679	182.42	261.4	3734	245	3500	106.68	

Figura 11. Rotura de cilindros de concreto de 3.500 PSI.

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA COLUMNAR

Tabla 19. Resistencias a la compresión de 4.000 PSI

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA INV - E - 410-07													
Cilindro No.	Slump (cm)	Fecha de fundida	Fecha de Rotura	Edad (días)	Carga total aplicada		Area	Resistencia		Resistencia de Diseño		Porcentaje	Promedio
					*KN	Kgf.	cm^2	Kg/cm2	PSI	Kg/cm2	PSI	%	Kg/cm2
1	7.5	25/09/2015	2/10/2015	7	405.0	41270	182.42	226.2	3232	280	4000	80.80	226.77
2	7.5	25/09/2015	2/10/2015	7	406.9	41463	182.42	227.3	3247	280	4000	81.18	
3	7.5	25/09/2015	9/10/2015	14	481.6	49075	182.42	269.0	3843	280	4000	96.08	266.68
4	7.5	25/09/2015	9/10/2015	14	473.2	48219	182.42	264.3	3776	280	4000	94.41	
5	7.5	25/09/2015	23/10/2015	28	545.5	55586	182.42	304.7	4353	280	4000	108.83	305.62
6	7.5	25/09/2015	23/10/2015	28	548.7	55913	182.42	306.5	4379	280	4000	109.47	

Figura 12. Rotura de cilindros de concreto de 4.000 PSI.

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA COLUMNAR

Tabla 20. Resistencias a la compresión de 4.500 PSI.

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA INV - E - 410-07													
Cilindro No.	Slump (cm)	Fecha de fundida	Fecha de Rotura	Edad (días)	Carga total aplicada		Area	Resistencia		Resistencia de Diseño		Porcentaje	Promedio
					*KN	Kgf.	cm^2	Kg/cm2	PSI	Kg/cm2	PSI	%	Kg/cm2
1	7.5	30/09/2015	7/10/2015	7	452.7	46130	182.42	252.9	3613	315	4500	80.28	251.35
2	7,5	30/09/2015	7/10/2015	7	447.2	45570	182.42	249.8	3569	315	4500	79.31	
3	7,5	30/09/2015	14/10/2015	14	542.5	55281	182.42	303.0	4329	315	4500	96.21	299.28
4	7.5	30/09/2015	14/10/2015	14	529.0	53905	182.42	295.5	4222	315	4500	93.81	
5	7.5	30/09/2015	28/10/2015	28	610.3	62190	182.42	340.9	4870	315	4500	108.23	340.17
6	7.5	30/09/2015	28/10/2015	28	607.6	61914	182.42	339.4	4849	315	4500	107.75	

Figura 13. Rotura de cilindros de concreto de 4.500 PSI.

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA COLUMNAR

Tabla 21. Resistencias a la compresión de 5.000 PSI.

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA INV - E - 410-07													
Cilindro No.	Slump (cm)	Fecha de fundida	Fecha de Rotura	Edad (días)	Carga total aplicada		Area	Resistencia		Resistencia de Diseño		Porcentaje	Promedio
					*KN	Kgf.	cm^2	Kg/cm2	PSI	Kg/cm2	PSI	%	Kg/cm2
1	7.5	2/10/2015	9/10/2015	7	490.1	49941	182.42	273.8	3911	350	5000	78.22	277.07
2	7.5	2/10/2015	9/10/2015	7	501.9	51144	182.42	280.4	4005	350	5000	80.11	
3	7.5	2/10/2015	16/10/2015	14	571.7	58256	182.42	319.4	4562	350	5000	91.25	316.88
4	7.5	2/10/2015	16/10/2015	14	562.8	57349	182.42	314.4	4491	350	5000	89.83	
5	7.5	2/10/2015	30/10/2015	28	631.3	64329	182.42	352.7	5038	350	5000	100.76	358.07
6	7.5	2/10/2015	30/10/2015	28	650.7	66306	182.42	363.5	5193	350	5000	103.85	

Figura 14. Rotura de cilindros de concreto de 5.000 PSI.

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA TRANSVERSAL

8. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A FLEXIÓN

Tabla 22. Resistencias a la flexión de 2.000 PSI.

ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO NORMA INV - E - 415-07																	
No.	UBICACION	Slump (cm)	RESISTENCIA TEORICA MR			FECHA		EDAD	LONG	ANCHO	ALTO	FUERZA	FUERZA	ESFUERZO MR		PORCENTAJE DE RESISTENCIA	PROMEDIO
										PROM	PROM						
			PSI	Kg/cm2	MPA	TOMA	ROTURA	DÍAS	mm	mm	mm	KNw	Kg	Kg/cm2	MPA	%	Kg/cm2
1	TESIS	7.5	2000	28.5	2.8	22/09/2015	29/09/2015	7	450	150	150	16.20	1652	22.03	2.16	77.14%	21.96
2		7.5	2000	28.5	2.8	22/09/2015	29/09/2015	7	450	150	150	16.10	1642	21.89	2.15	76.67%	
3		7.5	2000	28.5	2.8	22/09/2015	06/10/2015	14	450	150	150	18.50	1886	25.15	2.47	88.09%	24.95
4		7.5	2000	28.5	2.8	22/09/2015	06/10/2015	14	450	150	150	18.20	1856	24.74	2.43	86.67%	
5		7.5	2000	28.5	2.8	22/09/2015	20/10/2015	28	450	150	150	21.10	2152	28.69	2.81	100.48%	28.14
6		7.5	2000	28.5	2.8	22/09/2015	20/10/2015	28	450	150	150	20.30	2070	27.60	2.71	96.67%	

Figura 15. Rotura de viguetas de concreto de 2.000 PSI.

Fuente Los Autores

TIPO DE FALLA CON FISURAS DIAGONALES Y RADIALES

Tabla 23. Resistencias a la flexión de 2.500 PSI.

ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO NORMA INV - E - 415-07																	
No.	UBICACION	Slump (cm)	RESISTENCIA TEORICA MR			FECHA		EDAD	LONG	ANCHO	ALTO	FUERZA	FUERZA	ESFUERZO MR		PORCENTAJE DE RESISTENCIA	PROMEDIO
										PROM	PROM						
			PSI	Kg/cm2	MPA	TOMA	ROTURA	DÍAS	mm	mm	mm	KNw	Kg	Kg/cm2	MPA	%	Kg/cm2
1	TESIS	7.5	2500	34.8	3.4	23/09/2015	30/09/2015	7	450	150	150	17.70	1805	24.07	2.36	69.21%	24.41
2		7.5	2500	34.8	3.4	23/09/2015	30/09/2015	7	450	150	150	18.20	1856	24.74	2.43	71.16%	
3		7.5	2500	34.8	3.4	23/09/2015	07/10/2015	14	450	150	150	22.30	2274	30.32	2.97	87.19%	30.05
4		7.5	2500	34.8	3.4	23/09/2015	07/10/2015	14	450	150	150	21.90	2233	29.78	2.92	85.63%	
5		7.5	2500	34.8	3.4	23/09/2015	21/10/2015	28	450	150	150	25.60	2610	34.81	3.41	100.10%	34.60
6		7.5	2500	34.8	3.4	23/09/2015	21/10/2015	28	450	150	150	25.30	2580	34.40	3.37	98.92%	

Figura 16. Rotura de viguetas de concreto de 2.500 PSI.

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA CON FISURAS DIAGONALES Y RADIALES

Tabla 24. Resistencias a la flexión de 3.000 PSI.

ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO NORMA INV - E - 415-07																	
No.	UBICACION	Slump (cm)	RESISTENCIA TEORICA MR			FECHA		EDAD	LONG	ANCHO	ALTO	FUERZA	FUERZA	ESFUERZO MR		PORCENTAJE DE RESISTENCIA	PROMEDIO
										PROM	PROM						
			PSI	Kg/cm2	MPA	TOMA	ROTURA	DÍAS	mm	mm	mm	KNw	Kg	Kg/cm2	MPA	%	Kg/cm2
1	TESIS	7.5	3000	36.7	3.6	24/09/2015	01/10/2015	7	450	150	150	15.80	1611	21.48	2.11	58.52%	21.82
2		7.5	3000	36.7	3.6	24/09/2015	01/10/2015	7	450	150	150	16.30	1662	22.16	2.17	60.37%	
3		7.5	3000	36.7	3.6	24/09/2015	08/10/2015	14	450	150	150	21.80	2223	29.64	2.91	80.74%	29.78
4		7.5	3000	36.7	3.6	24/09/2015	08/10/2015	14	450	150	150	22.00	2243	29.91	2.93	81.48%	
5		7.5	3000	36.7	3.6	24/09/2015	22/10/2015	28	450	150	150	27.10	2763	36.85	3.61	100.37%	36.51
6		7.5	3000	36.7	3.6	24/09/2015	22/10/2015	28	450	150	150	26.60	2712	36.17	3.55	98.52%	

Figura 17. Rotura de viguetas de concreto de 3.000 PSI.

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA CON FISURAS DIAGONALES Y RADIALES

Tabla 25. Resistencias a la flexión de 3.500 PSI.

ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO NORMA INV - E - 415-07																	
No.	UBICACION	Slump (cm)	RESISTENCIA TEORICA MR			FECHA		EDAD	LONG	ANCHO	ALTO	FUERZA	FUERZA	ESFUERZO MR		PORCENTAJE DE RESISTENCIA	PROMEDIO
										PROM	PROM						
			PSI	Kg/cm2	MPA	TOMA	ROTURA	DÍAS	mm	mm	mm	KNw	Kg	Kg/cm2	MPA	%	Kg/cm2
1	TESIS	7.5	3500	39.8	3.9	25/09/2015	02/10/2015	7	450	150	150	22.20	2264	30.18	2.96	75.90%	29.84
2		7.5	3500	39.8	3.9	25/09/2015	02/10/2015	7	450	150	150	21.70	2213	29.50	2.89	74.19%	
3		7.5	3500	39.8	3.9	25/09/2015	09/10/2015	14	450	150	150	24.80	2529	33.72	3.31	84.79%	34.26
4		7.5	3500	39.8	3.9	25/09/2015	09/10/2015	14	450	150	150	25.60	2610	34.81	3.41	87.52%	
5		7.5	3500	39.8	3.9	25/09/2015	23/10/2015	28	450	150	150	30.30	3090	41.20	4.04	103.59%	40.92
6		7.5	3500	39.8	3.9	25/09/2015	23/10/2015	28	450	150	150	29.90	3049	40.65	3.99	102.22%	

Figura 18. Rotura de viguetas de concreto de 3.500 PSI.

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA CON FISURAS DIAGONALES Y RADIALES

Tabla 26. Resistencias a la flexión de 4.000 PSI.

ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO NORMA INV - E - 415-07																	
No.	UBICACION	Slump (cm)	RESISTENCIA TEORICA MR			FECHA		EDAD	LONG	ANCHO	ALTO	FUERZA	FUERZA	ESFUERZO MR		PORCENTAJE DE RESISTENCIA	PROMEDIO
										PROM	PROM						
			PSI	Kg/cm2	MPA	TOMA	ROTURA	DÍAS	mm	mm	mm	KNw	Kg	Kg/cm2	MPA	%	Kg/cm2
1	TESIS	7.5	4000	41.8	4.1	29/09/2015	06/10/2015	7	450	150	150	24.00	2447	32.63	3.20	78.05%	32.15
2		7.5	4000	41.8	4.1	29/09/2015	06/10/2015	7	450	150	150	23.30	2376	31.68	3.11	75.77%	
3		7.5	4000	41.8	4.1	29/09/2015	13/10/2015	14	450	150	150	27.20	2774	36.98	3.63	88.45%	36.71
4		7.5	4000	41.8	4.1	29/09/2015	13/10/2015	14	450	150	150	26.80	2733	36.44	3.57	87.15%	
5		7.5	4000	41.8	4.1	29/09/2015	27/10/2015	28	450	150	150	31.10	3171	42.28	4.15	101.14%	42.62
6		7.5	4000	41.8	4.1	29/09/2015	27/10/2015	28	450	150	150	31.60	3222	42.96	4.21	102.76%	

Figura 19. Rotura de viguetas de concreto de 4.000 PSI.

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA CON FISURAS DIAGONALES Y RADIALES

Tabla 27. Resistencias a la flexión de 4.500 PSI.

ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO NORMA INV - E - 415-07																	
No.	UBICACION	Slump (cm)	RESISTENCIA TEORICA MR			FECHA		EDAD	LONG	ANCHO	ALTO	FUERZA	FUERZA	ESFUERZO MR		PORCENTAJE DE RESISTENCIA	PROMEDIO
										PROM	PROM						
			PSI	Kg/cm2	MPA	TOMA	ROTURA	DÍAS	mm	mm	mm	KNw	Kg	Kg/cm2	MPA	%	Kg/cm2
1	TESIS	7.5	4500	44.9	4.4	30/09/2015	07/10/2015	7	450	150	150	25.20	2570	34.26	3.36	76.36%	33.85
2		7.5	4500	44.9	4.4	30/09/2015	07/10/2015	7	450	150	150	24.60	2508	33.45	3.28	74.54%	
3		7.5	4500	44.9	4.4	30/09/2015	14/10/2015	14	450	150	150	29.10	2967	39.56	3.88	88.18%	39.77
4		7.5	4500	44.9	4.4	30/09/2015	14/10/2015	14	450	150	150	29.40	2998	39.97	3.92	89.09%	
5		7.5	4500	44.9	4.4	30/09/2015	28/10/2015	28	450	150	150	33.50	3416	45.55	4.47	101.51%	45.34
6		7.5	4500	44.9	4.4	30/09/2015	28/10/2015	28	450	150	150	33.20	3385	45.14	4.43	100.61%	

Figura 20. Rotura de viguetas de concreto de 4.500 PSI.

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA CON FISURAS DIAGONALES Y RADIALES

Tabla 28. Resistencias a la flexión de 5.000 PSI.

ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO NORMA INV - E - 415-07																	
No.	UBICACION	Slump (cm)	RESISTENCIA TEORICA MR			FECHA		EDAD	LONG	ANCHO	ALTO	FUERZA	FUERZA	ESFUERZO MR		PORCENTAJE DE RESISTENCIA	PROMEDIO
										PROM	PROM						
			PSI	Kg/cm2	MPA	TOMA	ROTURA	DÍAS	mm	mm	mm	KNw	Kg	Kg/cm2	MPA	%	Kg/cm2
1	TESIS	7.5	5000	48.9	4.8	02/10/2015	09/10/2015	7	450	150	150	24.30	2478	33.04	3.24	67.50%	33.65
2		7.5	5000	48.9	4.8	02/10/2015	09/10/2015	7	450	150	150	25.20	2570	34.26	3.36	70.00%	
3		7.5	5000	48.9	4.8	02/10/2015	16/10/2015	14	450	150	150	31.40	3202	42.69	4.19	87.22%	42.28
4		7.5	5000	48.9	4.8	02/10/2015	16/10/2015	14	450	150	150	30.80	3141	41.88	4.11	85.56%	
5		7.5	5000	48.9	4.8	02/10/2015	30/10/2015	28	450	150	150	36.90	3763	50.17	4.92	102.50%	50.44
6		7.5	5000	48.9	4.8	02/10/2015	30/10/2015	28	450	150	150	37.30	3804	50.71	4.97	103.61%	

Figura 21. Rotura de viguetas de concreto de 5.000 PSI.

Fuente Los Autores.

TIPO DE FALLA CON FISURAS DIAGONALES Y RADIALES

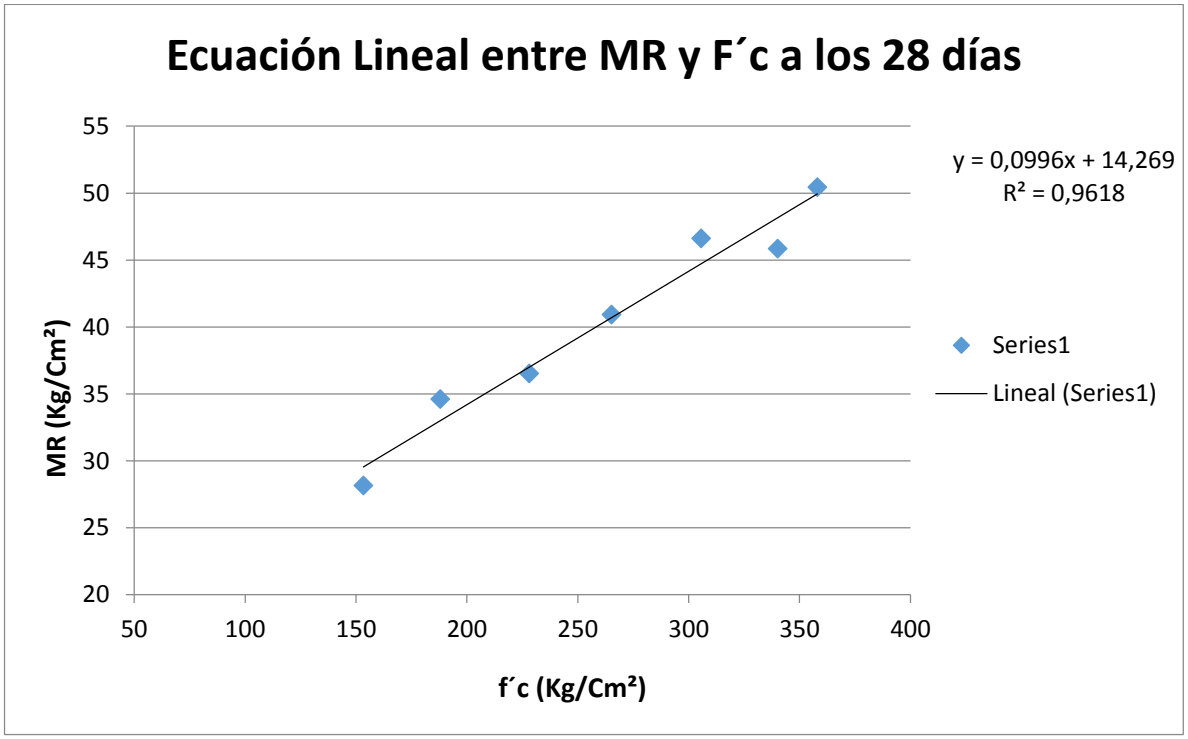
9. PROCEDIMIENTO DE FALLA PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS ESFUERZOS A TENSIÓN

La rotura de las vigas se realizó siguiendo la metodología del ensayo I.N.V. E-414 - 07 “Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en los tercios de la luz”, el cual se anexa. Lo anterior se refleja en las fotografías de las viguetas elaboradas y preparadas para el ensayo, y que a continuación se ilustran unas de ellas:

Las viguetas y cilindros se elaboraron con los concretos de las resistencias diseñadas que van desde los 2.000 PSI hasta los 5.000 PSI, y se llevaron a la rotura tanto a la flexión como a la compresión a los 7, 14 y 28 días, cuyos resultados quedaron consignados en las tablas que se encuentran en los numerales 7 y 8 del trabajo de grado.

Los resultados obtenidos se trasladaron a una hoja electrónica de cálculo tipo Excel y se realizaron las gráficas de resistencia a la flexión vs resistencia a la compresión, de las cuales se obtuvieron las gráficas y las ecuaciones de correlación, objeto final del trabajo de grado, y a continuación se ilustra una de ellas como ejemplo.

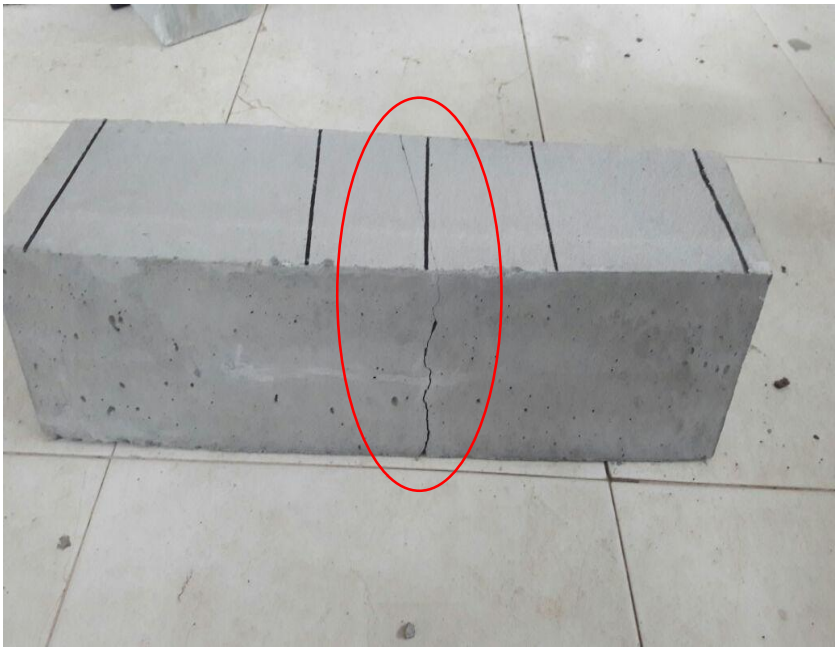
Gráfica 3. Ejemplo de Grafica y ecuación lineal entre MR y F´c a los 28 días.



Fuente Los Autores

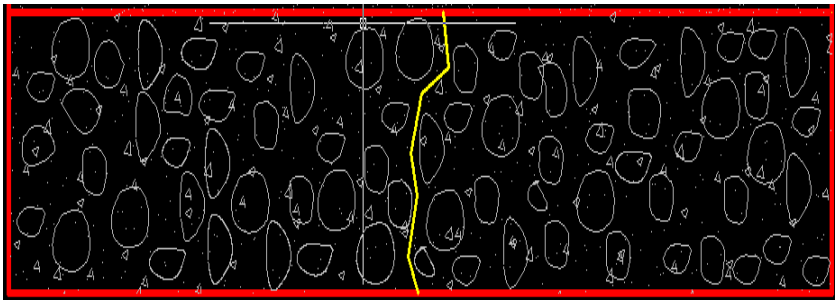
Por otra parte se hace referencia con detenimiento en forma esquemática a la sección por donde ocurrió la rotura. Se evidencia que la rotura se presentó en el tercio central que era lo esperado, con líneas de falla geométricamente muy parecidas las cuales no son totalmente verticales debido a la trabazón de los agregados que conforman el esqueleto del concreto.

Figura 22. Línea de falla presentada en viga de concreto ensayada en el Laboratorio.



Fuente Los Autores

Figura 23. Trabazón de los agregados pétreos en el concreto.



Fuente Los Autores

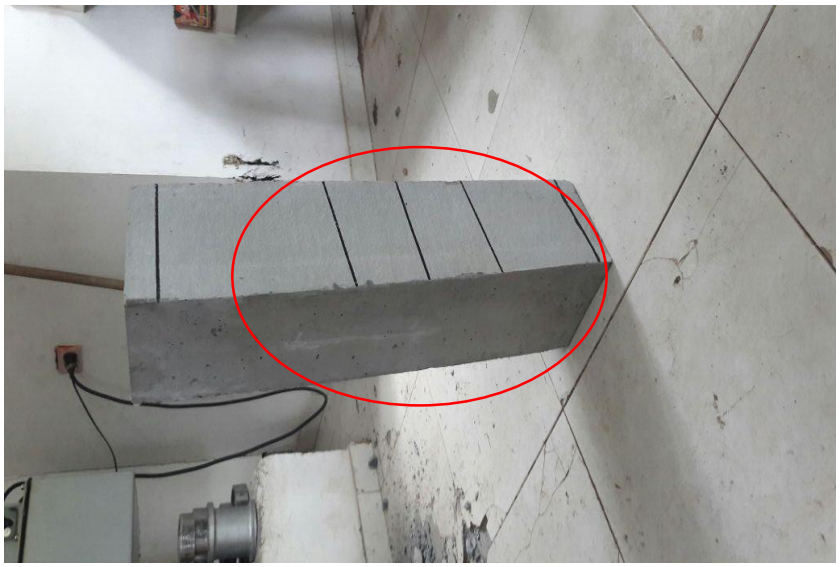
9.1 PREPARACIÓN DE LAS VIGUETAS PARA LA ROTURA

Las viguetas se prepararon para la rotura de la siguiente manera:

Figura 24. De los extremos de la sección escogida se trazó una línea vertical distante 1".

Fuente Los Autores

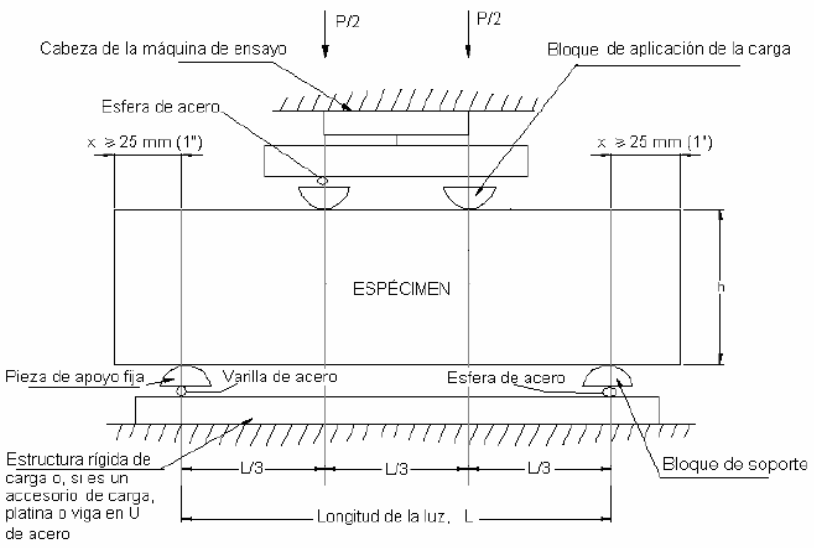
Figura 25. La distancia entre las líneas trazadas del numeral anterior se dividió en tres partes.



Fuente Los Autores

Los apoyos de carga se colocaron en los extremos del tercio central, tal como se muestra en la fotografía, en el esquema que se anexa, y como se hizo en el laboratorio donde se realizaron los ensayos.

Figura 26. Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simple cargada en los tercios de la luz.



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS) I.N.V- E- 414-07

Figura 27. Ubicación de los apoyos de carga en una vigueta de concreto Fallada en el laboratorio de prueba.

Fuente Los Autores

Figura 28. Se llevó a la falla cada vigueta.

Fuente Los Autores

Se analizaron los resultados y se interpretaron las líneas de falla.

9.2 INTERPRETACIÓN DE LAS LÍNEAS DE FALLA

La forma de la rotura varia con la naturaleza del agregado pétreo y su posición dentro del concreto y de la forma de la probeta. Los agregados duros y compactos se rompen en prismas rectos de sección irregular, siendo sus generatrices paralelas al sentido de los esfuerzos, y a veces salen proyectados con gran violencia. Las agregados blandos generalmente se rompen por las aristas de las bases, formado un ángulo menor de 50° con la dirección de la presión, desprendiéndose en forma de primas truncados prismas truncados.

Con base en esta teoría descrita la forma de la rotura de las viguetas de nuestro trabajo de grado, es un prisma recto de sección irregular casi de forma vertical, lo que indica la calidad de los agregados pétreos utilizados para la elaboración del concreto.

Figura 29. Rotura de vigueta

Fuente Los Autores

Como conclusión final, los resultados obtenidos tanto en las probetas cilíndricas como en las viguetas de concreto, son concordantes con los diseños a la compresión y módulos de rotura establecidos, con la correlación esperada demostrada a través de los ejemplos ilustrados, y en el caso de las viguetas su rotura se presentó en el tercio central muy próximo a la mitad de la vigueta, por lo que se considera bien realizados los ensayos, lo cual indica que el tamaño de los agregados, la porosidad y el diseño de mezcla cumplieron con lo establecido en la normatividad INVIAS, ACI, NTC.

10. PASOS PARA OBTENER LA ECUACIÓN

❖ Se ordenan los valores promedio de la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión correspondiente a los 7, 14 y 28 días de edad de cada una de las resistencias diseñadas, en la hoja de cálculo Excel.

❖ Tales valores se graficaran utilizando las curvas de dispersión lineales y potenciales.

❖ Se obtiene de las curvas de tendencia, su modelo matemático y el valor de R^2.

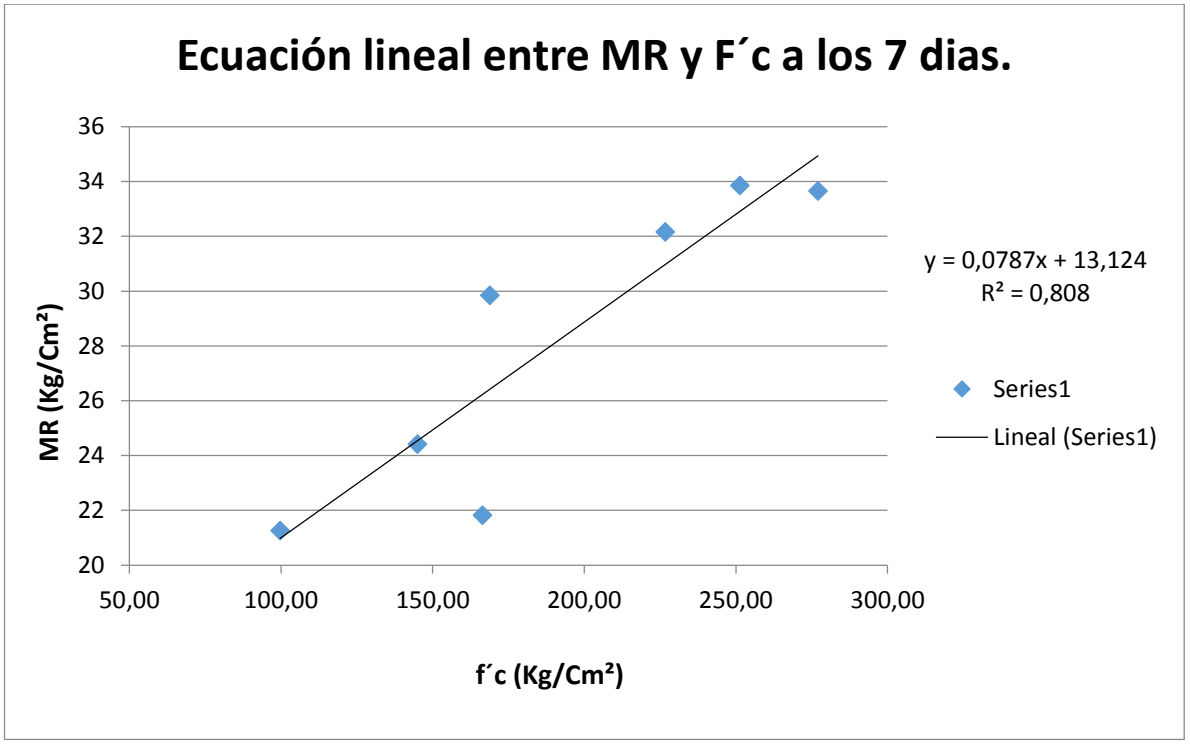
11. ELABORACIÓN DE GRÁFICAS Y OBTENCIÓN DE LAS ECUACIONES DE CORRELACIÓN.

Tabla 29. Valores promedio de MR y F´c a los 7 días.

Resistencia	MR (Kg/Cm²)	F´C (Kg/Cm²)
2000	21.26	99.71
2500	24.41	144.96
3000	21.82	166.47
3500	29.84	168.87
4000	32.15	226.77
4500	33.85	251.35
5000	33.65	277.07

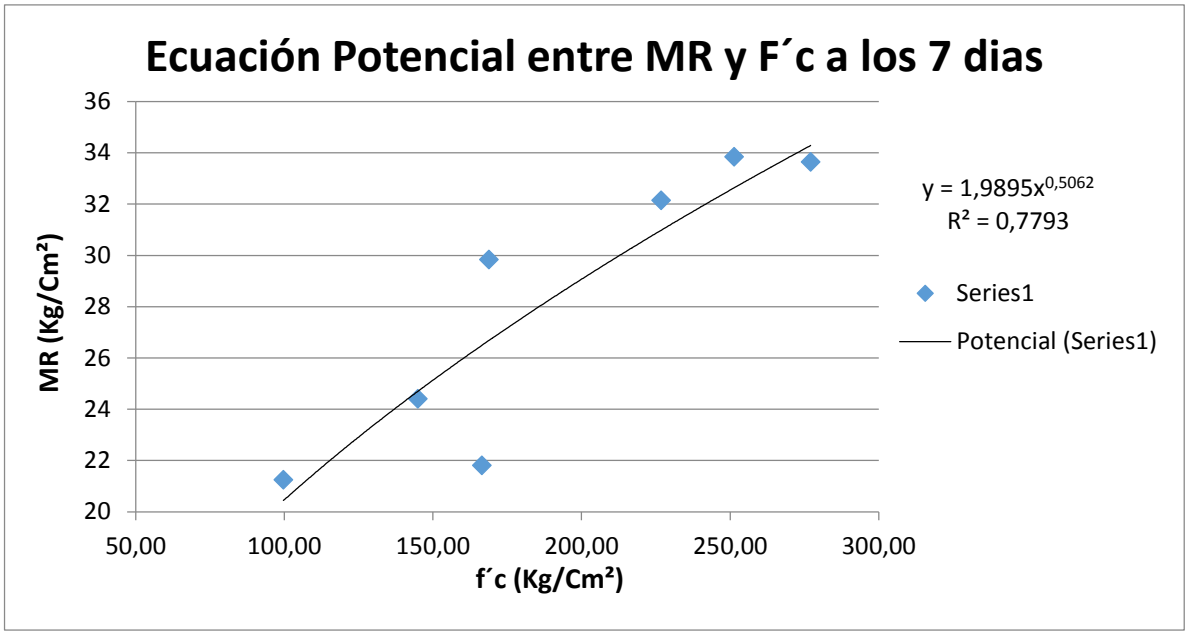
Fuente Los Autores.

Gráfica 4. Ecuación lineal entre MR y F´c a los 7 días.



Fuente Los Autores.

Gráfica 5. Ecuación potencial entre MR y F´c a los 7 días.



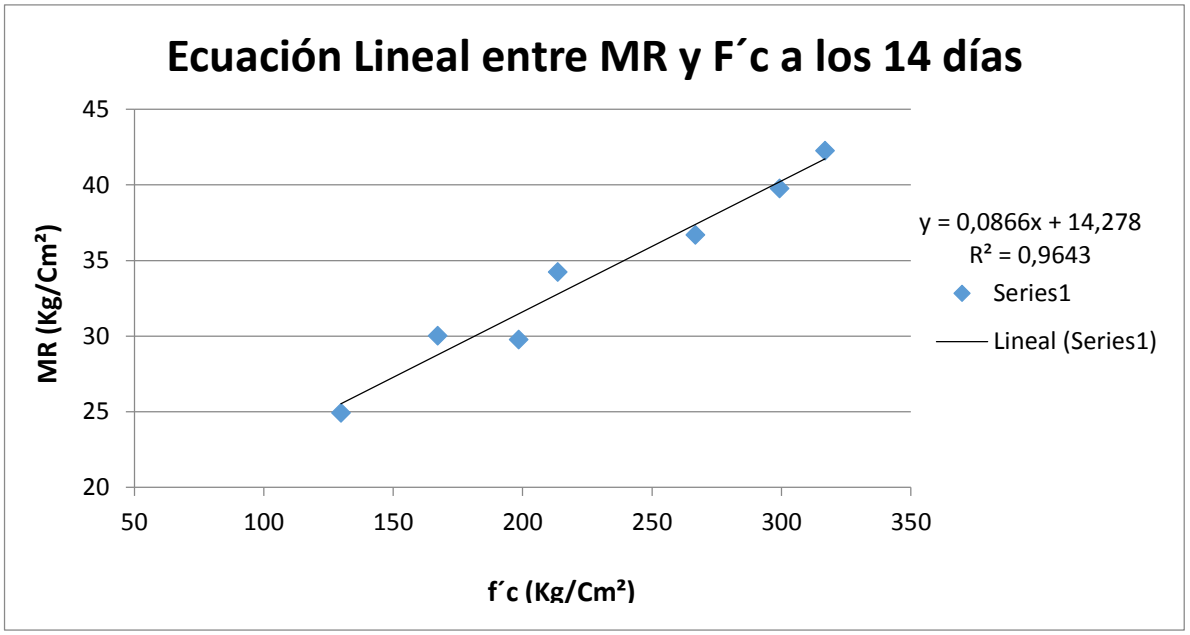
Fuente Los Autores.

Tabla 30. Valores promedio de MR y F´c a los 14 días.

Resistencia	MR	F´C
2000	24.95	129.88
2500	30.05	167.14
3000	29.78	198.53
3500	34.26	213.59
4000	36.71	266.68
4500	39.77	299.28
5000	42.28	316.88

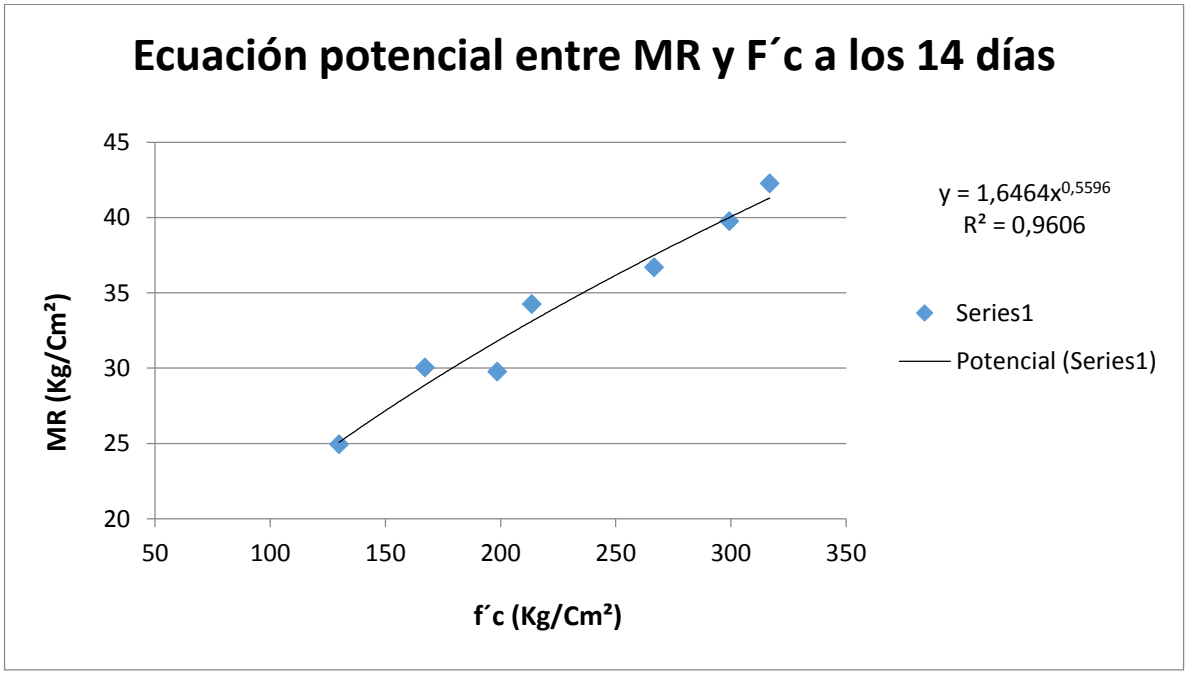
Fuente Los Autores.

Gráfica 6. Ecuación lineal entre MR y F´c a los 14 días.



Fuente Los Autores.

Gráfica 7. Ecuación potencial entre MR y F´c a los 14 días.



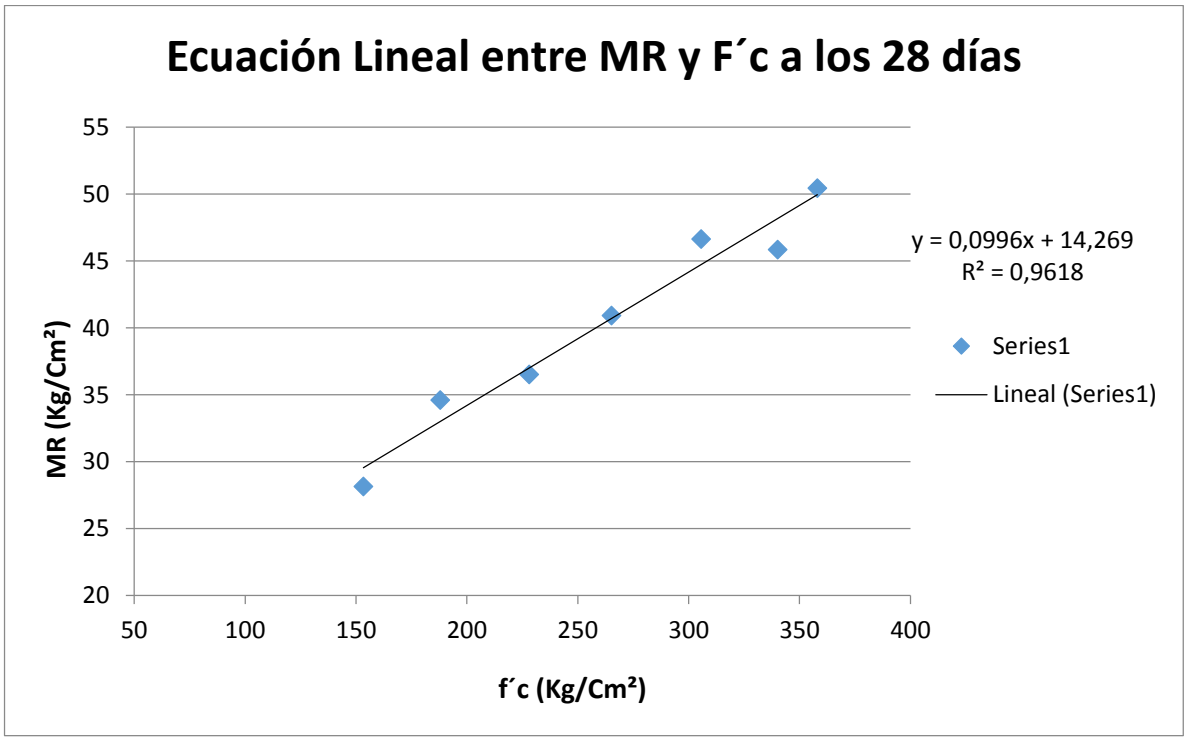
Fuente Los Autores.

Tabla 31. Valores promedio de MR y F´c a los 28 días.

Resistencia	MR	F´C
2000	28.14	153.31
2500	34.60	187.97
3000	36.51	228.14
3500	40.92	265.18
4000	46.62	305.62
4500	45.84	340.17
5000	50.44	358.07

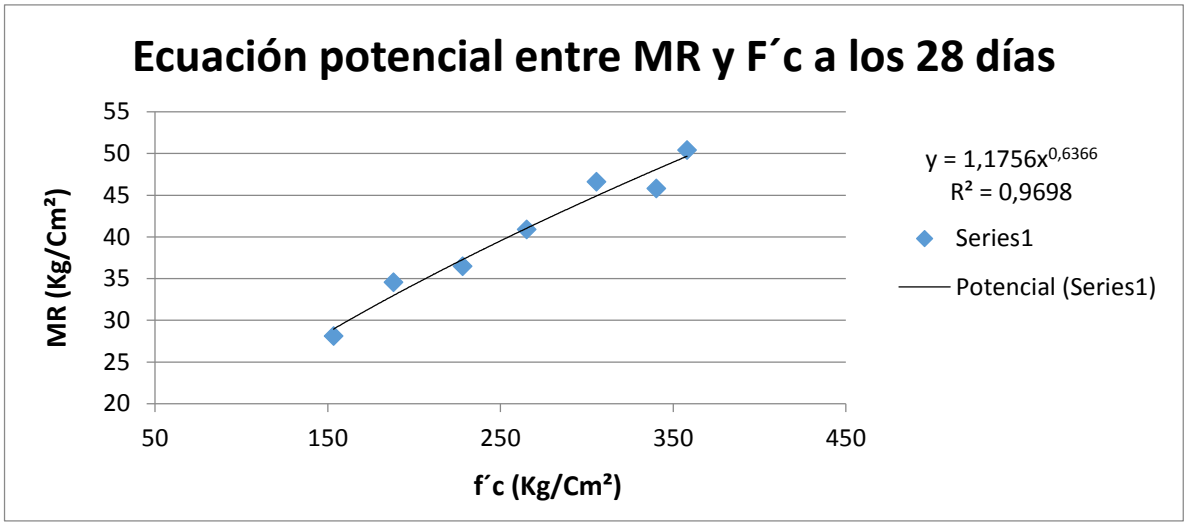
Fuente Los Autores.

Gráfica 8. Ecuación lineal entre MR y F´c a los 28 días.



Fuente Los Autores.

Gráfica 9. Ecuación potencial entre MR y F´c a los 28 días.



Fuente Los Autores.

11.1 EJEMPLOS DE CÓMO SE UTILIZAN LAS ECUACIONES DE CORRELACIÓN.

Para el ejemplo que vamos a ilustra a continuación hemos tomado tanto la ecuación lineal como la potencial que nos dan las gráficas 7 y 8 respectivamente.

11.1.1 Alternativa 1.

Ecuación lineal a los 28 días.

$$y = 0.0996x + 14.269$$

Dónde:
y= Modulo de rotura.
x= Resistencia a la compresión.

Datos:
Para y = 41 Kg/cm²

Despejando la ecuación:

$$x = \frac{(41 - 14.269)}{0.0996}$$

Obtenemos:

x= 268.38 Kg/cm²

$$x = \frac{268.38\ kg/cm2}{0.07} = \mathbf{3834.05\ PSI}$$

11.1.2 Alternativa 2.

Ecuación potencial a los 28 días.

$$y = 1.1756x^{0.6366}$$

Dónde:

y= Modulo de rotura.

x= Resistencia a la compresión.

Datos:

Para *y*= 41 Kg/cm²

Despejando la ecuación:

$$\frac{41}{1.1756} = x^{0.6366}$$

Entonces:

$$\frac{41}{1.1756} = x^{1/0.6366}$$

$$x = (\frac{41}{1.1756})^{1.57}$$

Obtenemos:

x= 264.10 Kg/cm²

$$x = \frac{264.10\ kg/cm2}{0.07} = \mathbf{3772.81\ PSI}$$

De los ejemplos ilustrados con anterioridad podemos afirmar que la ecuación potencial es la más confiable ya que su valor de R² es el más cercano a 1.

12. CONCLUSIONES.

❖ Se pudo establecer que existe una correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión, determinadas mediante las ecuaciones: lineal con $y = 0.0996x + 14.269$ y $R^2 = 0.9618$ y potencial con $y = 1.1756x^{0.6366}$ y $R^2 = 0.9698$ aplicables a los a los 28 días teniendo en cuenta que:

❖ La ecuación de correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión recomendada en el ACI es de forma exponencial, así: $MR=K\sqrt{F'c}$

❖ De los valores obtenidos de R^2, es mayor el de la ecuación potencial lo que indica que los valores obtenidos para la correlación son menos dispersos lo cual es, una garantía importante al momento de la evaluación de la resistencia de los concretos a través de la resistencia a la compresión.

❖ Se concluye que la calidad del agua utilizada en la elaboración de los concretos en el laboratorio es óptima, ya que es la que suministra la empresa ACUAGYR S.A.S, para los municipios de Girardot y Ricaurte.

❖ Se concluye que los requisitos de calidad de los agregados del Rio Coello comparados con la normatividad vigente, cumplen.

13. RECOMENDACIONES

❖ Se recomienda hacer un continuo seguimiento a las ecuaciones de correlación propuestas con el propósito de verificar su confiabilidad para que se puedan utilizar siempre como una herramienta de control que conlleva a certificar su uso en la construcción de concretos para pavimentos rígidos con materiales del Rio Coello.

❖ Se recomienda desarrollar trabajos de investigación donde se correlacione el módulo de rotura con la resistencia a la compresión con materiales de otros ríos, con materiales aptos de cantera y con concretos reciclados.

BIBLIOGRAFÍA

(s.f.). Obtenido de http://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-005-04.pdf

Garcia, C. (Julio de 2010). Determinación de la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto (Caso Prevessa). Bucaramanga.

Garcia, C. (29 de Febrero de 2012). Obtenido de www.duravia.com.pe/blog/wp-content/uploads/resistencia-concreto-ACI-ica-version-web.pdf

Londoño Naranjo, C., & Alvarez Pabón, J. A. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vias con bajos,medios y altos volumenes de transito.* Medellin.

Mendoza, A., Molina, O., & Moya, T. (Febrero de 2004). Determinación de la correlación entre el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura para pavimentos de concreto hidraulico con materiales en condiciones locales. San Salvador.

Montejo, f. (2008). *Ingenieria de Pavimentos. Tomo I tercera edicion.* Bogota D.C: Stella Valbuena Garcia.

NRMCA. (s.f.). Obtenido de www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf

NRMCA. (s.f.). Obtenido de www.nrmaca.org/aboutconcrete/cips/CIP35es.pdf

Osorio, J. (6 de Noviembre de 2013). Obtenido de http://blog.360gradosenconcreto.com/pavimentos-de-concreto-ensayo-de-compresion-vs-ensayo-de-flexion/

Rivera, L. (s.f.). Obtenido de es.scribd.com/doc/58132781/Tecnologia-Concreto-y-Mortero-Rivera-Unicauca#scribd

Rivera, V. (Marzo de 1983). Ensayes Acelerados Para Determinar La Resistencia Potencial a La Tensión Por Compresión Diametral y El Modulo de Ruptura del Comcreto a Los 28 Dias y Aplicaciones. Monterrey, N.L, Mexico.

Silva, F., Pavón, C., & Hernández, M. S. (1 de Octubre de 2013). Obtenido de www.unitec.edu/innovare/?p=377

ANEXO A. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.

CLASIFICACIÓN SUELOS
NORMAS I.N.V. E-123, E-125, E-126
NTC 77/78/4630/1776
NORMAS

VERSION	2
FECHA	07-ene-14
CODIGO	C - S - 218

MATERIAL: ARENA
ALUMNOS: JOHN LEWIS LOZANO CORTES - EDWIN JESUS CARDENAS FIERRO
PROYECTO: TRABAJO DE TESIS CORRELACION MR VS F´C DE CONCRETOS HIDRAULICOS

☑ **FECHA T:** 20-nov-14
☑ **FECHA E:** 24-nov-14
PROCEDENCIA: RIO COELLO

RETENIDO No 10			PASA No 10	
PESO INICIAL =		2904,3	INICIAL	
PESO FINAL =		2406,2	FINAL	1362,4
TAMIZ		PESO. RETENIDO INDIVIDUAL	% RETENIDO INDIVIDUAL	% QUE PASA
Pulg	mm			
3"	76,20	0,0	0,0	100,0
2-1/2"	63,50	0,0	0,0	100,0
2"	50,80	0,0	0,0	100,0
1-1/2"	38,10	0,0	0,0	100,0
1"	25,40	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,05	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,70	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,52	0,0	0,0	100,0
N°4	4,76	537,0	18,5	81,5
N°8	2,36	679,5	23,4	58,1
N°16	1,18	487,1	16,8	41,3
N°30	0,600	369,9	12,7	28,6
N°50	0,300	172,7	7,2	21,4
N°100	0,150	220,6	7,6	13,8
No 200	0,074	112,1	3,9	10,0
F		498,1		

CLASIFICACION		
LIMITE LIQUIDO	NP	AASHTO
LIMITE PLASTICO	NP	A-1-b
INDICE DE PLASTICIDAD	NP	U.S.C
INDICE DE GRUPO	0	SW-SM

OBSERVACIONES:
Humedad natural: 3,2

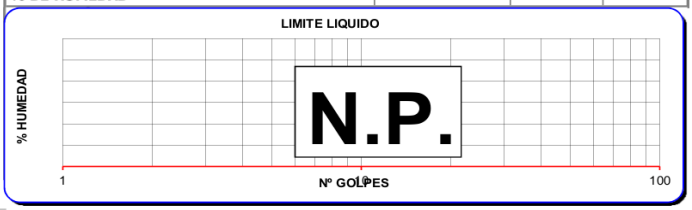
GRAVAS:	%	18,5
ARENAS:	%	71,5
FINOS:	%	10,0

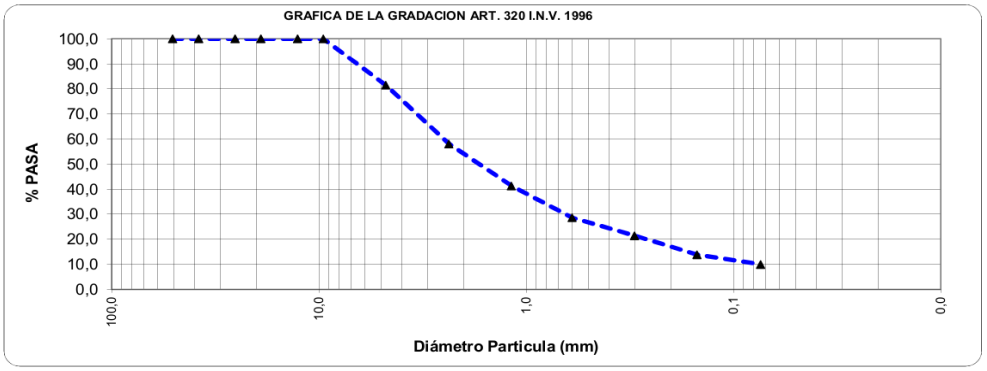
LIMITE LIQUIDO

ENSAYO N°	1	2	3
TARA N°			
N° DE GOLPES			
PESO SUELO+TARA HUMEDO		NL	
PESO SUELO+TARA SECO			
PESO TARA			
% DE HUMEDAD			

LIMITE PLASTICO

ENSAYO N°	1	2	3
TARA N°			
PESO SUELO+TARA HUMEDO			
PESO SUELO+TARA SECO		NP	
PESO TARA			
% DE HUMEDAD			





OBSERVACIONES: Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra sometida a ensayo.
El laboratorio no asume responsabilidad alguna por la reproduccion parcial o total de este documento sin la debida autorizacion escrita

CARLOS ANDRES NIETO
ING. DIRECTOR LABORATORIO

LAURA MARICELA VELASCO C.
LABORATORISTA

Fuente. Laboratorio Edyconst, Ingeniero Carlos Andrés Nieto L.

CLASIFICACIÓN SUELOS
NORMAS I.N.V. E-123, E-125, E-126
NTC 77/78/4630/1776

NORMAS

VERSION	2
FECHA	07-ene-14
CODIGO	C - S - 218

MATERIAL: GRAVA 3/4" — **FECHA T:** 20-nov-14
ALUMNO: JOHN LEWIS LOZANO CORTES - EDWIN JESUS CARDENAS FIERRO — **FECHA E:** 24-nov-14
PROYECTO: TRABAJO DE TESIS CORRELACION MR VS F´C DE CONCRETOS HIDRAULICOS — **PROCEDENCIA:** RIO COELLO

RETENIDO No 10			PASA No 10	
PESO INICIAL =		2980,3	INICIAL	
PESO FINAL =		2962,1	FINAL	2,8
TAMIZ		PESO. RETENIDO INDIVIDUAL	% RETENIDO INDIVIDUAL	% QUE PASA
Pulg	mm			
3"	76,20	0,0	0,0	100,0
2-1/2"	63,50	0,0	0,0	100,0
2"	50,80	0,0	0,0	100,0
1-1/2"	38,10	0,0	0,0	100,0
1"	25,40	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,05	951,4	31,9	68,1
1/2"	12,70	1951,9	65,5	2,6
3/8"	9,52	12,3	0,4	2,2
N°4	4,76	40,2	1,3	0,8
N°10	2,00	3,5	0,1	0,7
N°40	0,430	0,8	0,0	0,7
N°80	0,180	0,8	0,0	0,7
N°100	0,150	0,1	0,0	0,6
No 200	0,074	1,1	0,0	0,6
F		18,2		

CLASIFICACION		
LIMITE LIQUIDO	NP	AASHTO
LIMITE PLASTICO	NP	A-1-a
INDICE DE PLASTICIDAD	NP	U.S.C
INDICE DE GRUPO	0	GP

OBSERVACIONES:
Humedad natural: 0,7

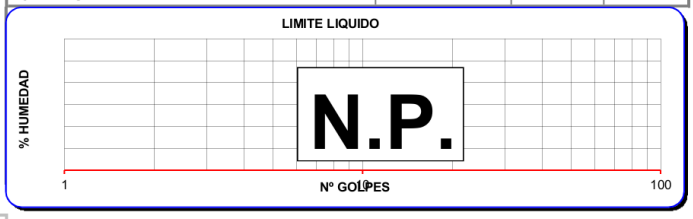
GRAVAS:	%	99,2
ARENAS:	%	0,2
FINOS:	%	0,6

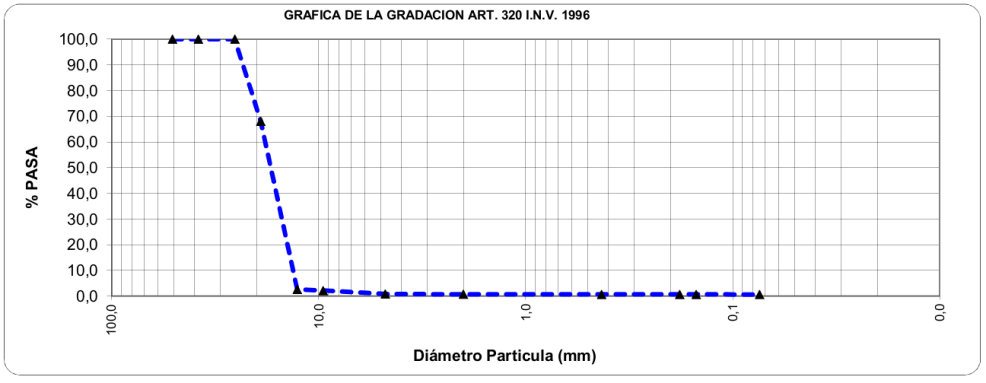
LIMITE LIQUIDO

ENSAYO N°	1	2	3
TARA N°			
N° DE GOLPES			
PESO SUELO+TARA HUMEDO		NL	
PESO SUELO+TARA SECO			
PESO TARA			
% DE HUMEDAD			

LIMITE PLASTICO

ENSAYO N°	1	2	3
TARA N°			
PESO SUELO+TARA HUMEDO			
PESO SUELO+TARA SECO		NP	
PESO TARA			
% DE HUMEDAD			





OBSERVACIONES: Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra sometida a ensayo.
El laboratorio no asume responsabilidad alguna por la reproduccion parcial o total de este documento sin la debida autorizacion escrita de la Divicion de Geotecnia y Pavimento

CARLOS ANDRES NIETO
ING. DIRECTOR LABORATORIO

LAURA MARICELA VELASCO C.
LABORATORISTA

Fuente. Laboratorio Edyconst, Ingeniero Carlos Andrés Nieto L.

ESTUDIOS, DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES CARLOS NIETO S.A.S

MATERIAL:	GRAVA Y ARENA	**FECHA T:**	20-nov-14
ALUMNO:	JOHN LEWIS LOZANO CORTES - EDWIN JESUS CARDENAS FIERRO	**FECHA E:**	24-nov-14
PROYECTO:	TRABAJO DE TESIS CORRELACION MR VS F´C DE CONCRETOS HIDRAULICOS	**PROCEDENCIA:**	RIO COELLO

SANIDAD DE LOS AGREGADOS (ENSAYO DE SOLIDEZ) NORMA INV-E 220

AGREGADOS	TAMIZ PASA	TAMIZ RETENIDO	GRADACION RETENIDO EN MUESTRA OR. % A	PESO FRACCION ANTES DEL ENSAYO, GR. B	PESO FRACCION DESPUES DEL ENSAYO, GR C	PORCENTAJE DE PERDIDAS, % D=100(B-C)/B	AD/100
GRUESOS	1 ½"	1"	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1"	¾"	951,40	300,00	299,80	0,07	0,63
	¾"	3/8´´	1.964,20	300,00	298,70	0,43	8,51
	3/8´´	# 4	40,20	40,20	39,80	1,00	0,40
	TOTAL						9,55
	PERDIDA POR SOLIDEZ = (E) =			**9,55%**	CUMPLE	☑ SI ☐ NO	
FINOS	3/8´´	# 4	537,00	100,00	99,80	0,20	1,07
	# 4	# 8	679,50	100,00	99,60	0,40	2,72
	# 8	# 16	487,10	100,00	99,30	0,70	3,41
	# 16	# 30	369,90	100,00	99,80	0,20	0,74
	# 30	# 50	172,70	100,00	99,50	0,50	0,86
	# 50	-					
	TOTAL		2246,2				8,81
	PERDIDA POR SOLIDEZ = (E) =			**8,81%**	CUMPLE	☑ SI ☐ NO	

ROCA VIRGEN

50 PIEDRAS ± 100 GR. C/U	A	B	C
	PESO FRACCION ANTES DEL ENSAYO, GR.	PESO FRACCION DESPUES DEL ENSAYO, GR	C = 100 (A-B) / A
PERDIDA POR SOLIDEZ = (E) =	CUMPLE	☑ SI ☐ NO	

OBSERVACIONES: Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra sometida a ensayo.

El laboratorio no asume responsabilidad alguna por la reproduccion parcial o total de este documento sin la debida autorizacion escrita de Edyconst S.A.S

CARLOS ANDRES NIETO L.
ING. DIRECTOR LABORATORIO

LAURA MARICELA VELASCO C.
LABORATORISTA

Fuente. Laboratorio Edyconst, Ingeniero Carlos Andrés Nieto L.

ESTUDIOS, DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES CARLOS NIETO S.A.S

MATERIAL: ARENA **FECHA T:** 20-nov-14

ALUMNO: JOHN LEWIS LOZANO CORTES - EDWIN JESUS CARDENAS FIERRO **FECHA E:** 24-nov-14

PROYECTO: TRABAJO DE TESIS CORRELACION MR VS F´C DE CONCRETOS HIDRAULICOS **PROCEDENCIA:** RIO COELLO

DETERMINACIÓN EQUIVALENTE DE ARENA
NORMA INV-E 133

PRUEBA No.		1	2	3
LECTURA DE ARCILLA (mm)	**A**	4,4	5,1	5,0
LECTURA DE ARENA (mm)	**B**	3,3	3,7	3,9
EQUIVALENTE DE ARENA	**C**	75,0	73,0	78,0
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO %		**76**		
EQUIVALENTE ESPECIFICADO %		**60**		

EQUIVALENTE DE ARENA = (B/A)*100

OBSERVACIONES: Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra sometida a ensayo. El laboratorio no asume responsabilidad alguna por la reproduccion parcial o total de este documento sin la debida autorizacion escrita de Edyconst S.A.S

CARLOS ANDRES NIETO
ING. DIRECTOR LABORATORIO

LAURA MARICELA VELASCO
LABORATORISTA

Fuente. Laboratorio Edyconst, Ingeniero Carlos Andrés Nieto L.

EDYCONST	**PARTICULAS ALARGADAS Y PLANAS NORMA INVIAS E-240-07**	VERSION: I FECHA: 25/01/2014 CODIGO: I - A Y A- 218

MATERIAL: GRAVA 3/4" **FECHA T:** 20/11/2014

ALUMNOS: JOHN LEWIS LOZANO CORTES - EDWIN JESUS CARDENAS FIERRO **FECHA E:** 24/11/2014

PROYECTO: TRABAJO DE TESIS CORRELACION MR VS F´C DE CONCRETOS HIDRAULICOS **PROCEDENCIA:** RIO COELLO

FRACCION ANALIZADA			*1er GRUPO*	*2do GRUPO*	*3er GRUPO*	CALCULO PROPORCIONES POR PESO__ O Conteo_x__		
TAMIZ PASA	*TAMIZ RETIENE*	*PESO __ CONTEO __x__*	*PLANAS*	*ALARGADAS*	*NI PLAN. NI ALARG.*	*PART. PLANAS*	*PART. LARGAS*	*NI PLAN. NI ALARG.*
1"	3/4"	1236	6	8	1222,0	0,5	0,6	98,9
3/4"	1/2"	3245	5	7	3233	0,2	0,2	99,6
1/2"	3/8"	56	3	4	49	5,4	7,1	87,5
TOTAL					PROMEDIO	2,0	2,7	95,3

DETERMINACION DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS							
FRACCION ANALIZADA				DETERMINACION DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS			
PASA	*RET*	PESO	No. DE PART.	PART. PLANAS Y LARGAS	NI PLANA NI ALARGADAS	% LARGAS Y PLANAS	% NI PLANAS NI LARGAS
1"	3/4"	951,4	1236	14	1222	1,5	98,5
3/4"	3/8"	1964,2	3245	12	3233	0,6	99,4
3/8"	No. 4	40,2	56	7	49	17,4	82,6
					PROMEDIO	6,5	

VALOR ESPECIFICACIONES NORMA INVIAS 2007		*RESULTADO*	*CUMPLE SI / NO / N.A*
INDICE DE APLANAMIENTO EN %	*25,0 % MAX*	***2,0***	***SI***
INDICE DE ALARGAMIENTO EN %	*25,0 % MAX*	***2,7***	***SI***
% DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS	*NO ESPECIFICA*	***17,4***	***N.A***
RELACION 5/1			

OBSERVACIONES: Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra sometida a ensayo.

El laboratorio no asume responsabilidad alguna por la reproduccion parcial o total de este documento sin la debida autorizacion escrita de Edyconst S.A.S

CARLOS ANDRES NIETO
ING. DIRECTOR LABORATORIO

LAURA MARICELA VELASCO CRISTANCHO
LABORATORISTA

Fuente. Laboratorio Edyconst, Ingeniero Carlos Andrés Nieto L.

	DETERMINACION DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS	VERSION 2
EDYCONST		FECHA: 07/1/14
		CODIGO: A Y D 218

Norma: I.N.V.E-211-07

MATERIAL:	GRAVA Y ARENA	**FECHA T:**	20-nov-14
ALUMNOS :	JOHN LEWIS LOZANO CORTES - EDWIN JESUS CARDENAS FIERRO	**FECHA E:**	24-nov-14
PROYECTO:	TRABAJO DE TESIS CORRELACION MR VS F´C DE CONCRETOS HIDRAULICOS	**PROCEDENCIA:**	RIO COELLO

FRACION GRUESA		*TAMIZ DE REF. PARA LAVADO*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*
PASA TAMIZ	*RETENIDO EN TAMIZ*		*(g)*	*(g)*	*((1-2)/1)*100*	*(%)*	*(3X4)*
3/4"	3/8"	No. 4	2000	1991,5	0,43	0,4	0,2
3/8"	No. 4	No. 8	1000	998,7	0,13	1,3	0,2
SUMATORIA					Σ	1,7	0,3
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES			$\frac{\Sigma\ 5}{\Sigma\ 4}$ =	***0,3 / 1,7***	=	***0,20 %***	0,25%

FRACION FINA		*TAMIZ DE REF. PARA LAVADO*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*
PASA TAMIZ	*RETENIDO EN TAMIZ*		*(g)*	*(g)*	*((1-2)/1)*100*	*(%)*	*(3X4)*
No. 4	No. 8	No. 16	100	98,8	1,20	23,4	28,1
No. 8	No. 16	No. 30	100	99,7	0,30	16,8	5,0
SUMATORIA					Σ	40,2	33,1
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES			$\frac{\Sigma\ 5}{\Sigma\ 4}$ =	33,1 / 40,2	=	**0,82 %**	<1,0%

1	PESO FRACION SECA LAVADA g	4	PROCENTAJE RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL
2	PESO MATERIAL RETENIDO TAMIZ DE LAVADO, g	5	PROMEDIO DE PART. DE ARCILLA
3	PORCENTAJE DE PARTICULAS DE ARCILLA g,		

OBSERVACIONES: Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra sometida a ensayo.
El laboratorio no asume responsabilidad alguna por la reproduccion parcial o total de este documento sin la debida autorizacion escrita de la Divicion de Geotecnia y Pavimento

CARLOS ANDRES NIETO L.
ING. DIRECTOR LABORATORIO

LAURA MARICELA VELASCO C.
LABORATORISTA

Fuente. Laboratorio Edyconst, Ingeniero Carlos Andrés Nieto L.

EDYCONST S.A.S

ESTUDIOS, DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES CARLOS NIETO S.A.S

ANALISIS GRANULOMETRICO Y CARACTERIZACION

ALUMNOS:	JOHN LEWIS LOZANO CORTES - EDWIN JESUS CARDENAS FIERRO	Muestra Triturado
PROYECTO:	TRABAJO DE TESIS CORRELACION MR VS F´C DE CONCRETOS HIDRAULICOS	Objeto
MATERIAL	GRAVA DE 3/4"	CONCRETO HIDRAULICO

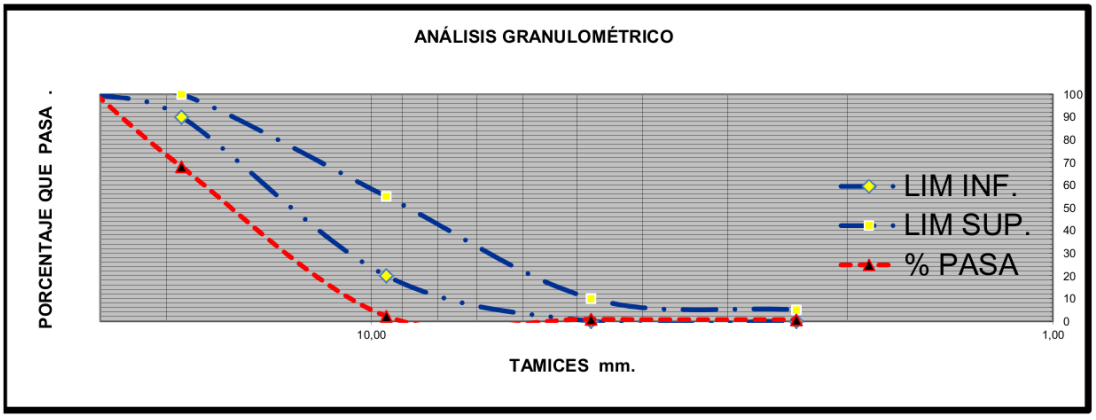
P. Total (gr)= 2980,3	P. Retenido= 2980,3	Error = 0,0%	Norma INVIAS 630,2,2,2 E AG2

Tamiz US Standard	mm.	Peso Retenido	P. Retenido Corregido	% retenido.	% acum.	% que pasa	NORMA	
1"	25,40	0,00	0,0	0,00	0,0	100	100	100
3/4"	19,00	951,4	951,4	31,9	31,9	68,1	90	100
3/8"	9,51	1964,2	1964,2	65,9	97,8	2,2	20	55
No.4	4,76	40,2	40,2	1,3	99,2	0,8	0	10
No.8	2,38	5,1	5,1	0,2	99,3	0,7	0	5
No.100	0,15	0,1	0,1	0,0	99,4	0,6		
No.200	0,075	1,1	1,1	0,0	99,4	0,6		
	Fondo	18,2	18,2					
	Total	2980,3	2980,3					

DESGASTE MAQUINA DE LOS ANGELES	
GRADACION TIPO A	
No Esferas	12
TAMIZ	**PESO**
1"	1250,0
3/4"	1250,0
1/2"	1250,0
3/8"	1250,0
Total Inicial	5000,0
Total Final	3732,0
Desgaste	**25,36**

DENSIDAD Y ABSORCION	
C.Seca (gra)	1226,00
C.Mojada (gra)	1137,00
Muestra S:(gra)	2726,00
M.S.S.S smg(gra)	2058,00
M.S.S.S aire(gra)	2606,00
D.Aparente (gra/cc)	2,74
D.Nominal (gra/cc)	2,59
Absorcion	2,07

MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTA GRAVA								
RECIPIENTE			MATERIAL SUELTO		MAT. COMPACTO		MASAS UNITARIAS	
Volumen	Cm^3	5301,0	Res+Agre	12548,0	Res+Agre	13130,0	Suel Kg/cc	1,516
Peso	Gramos	4510,0	Agregado	8038,0	Agregado	8620,0	Com Kg/cc	1,626



Fuente. Laboratorio Edyconst, Ingeniero Carlos Andrés Nieto L.

EDYCONST S.A.S

ESTUDIOS, DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES CARLOS NIETO S.A.S

ANALISIS GRANULOMETRICO Y CARACTERIZACION

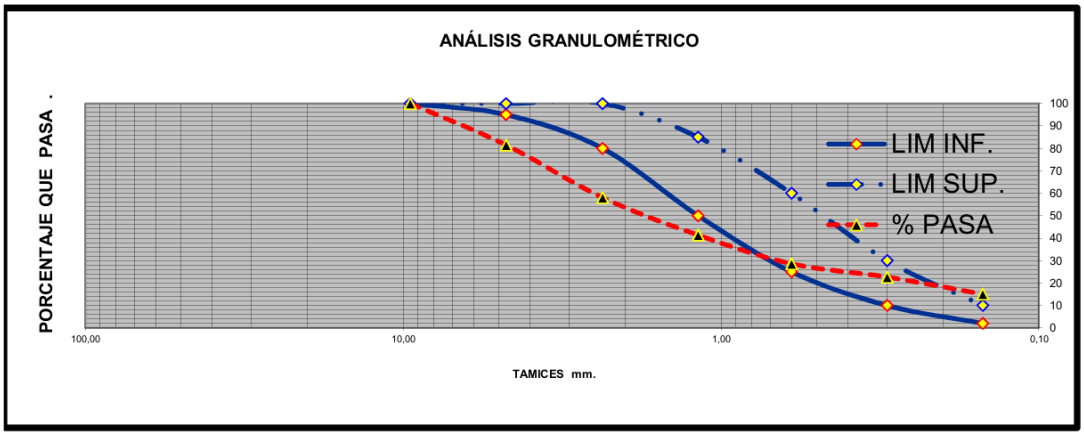
ALUMNOS:	JOHN LEWIS LOZANO CORTES - EDWIN JESUS CARDENAS FIERRO	Muestra Arena
PROYECTO:	TRABAJO DE TESIS CORRELACION MR VS F´C DE CONCRETOS HIDRAULICOS	Objeto
MATERIAL	ARENA	CONCRETO HIDRAULICO

P. Total (gr)= 2904,3	P. Retenido= 2904,3	Error = 0,0%	Norma INVIAS 630,2,2,2 E AG2

Tamiz US Standard	mm.	Peso Retenido	P. Retenido Corregido	% retenido.	% acum.	% que pasa	NORMA	
1/2"	12,50	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,50	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
No 4	4,75	537,0	537,0	18,5	18,5	81,5	95,0	100,0
No 8	2,36	679,5	679,5	23,4	41,9	58,1	80,0	100,0
No 16	1,18	487,1	487,1	16,8	58,7	41,3	50,0	85,0
No 30	0,60	369,9	369,9	12,7	71,4	28,6	25,0	60,0
No 50	0,30	172,7	172,7	5,9	77,3	22,7	10,0	30,0
No.100	0,15	220,6	220,6	7,6	84,9	15,1	2,0	10,0
	Fondo	437,5	437,5	15,1	100,0	0,0		
	Total	2904,3	2904,3					

DENSIDAD Y ABSORCION	
Peso seco (gr)	469,5
Agua + Mat (gr)	702,1
M:Seca + Recip (gr)+Agua	892,3
M.S.S.S +Recp(gr)	500,0
Vol.Prob (cm^3)	500,0
D.Aparente (gr/cc)	1,52
D Nominal (gr/cc)	1,68
Absorcion	6,50

MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTA ARENA								
RECIPIENTE			MATERIAL SUELTO		MAT. COMPACTO		MASAS UNITARIAS	
Volumen	Cm^3	5301,0	Res+Agre	13359,0	Res+Agre	14014,0	Suel Kg/cc	1,669
Peso	Gramos	4510,0	Agregado	8849,0	Agregado	9504,0	Com Kg/cc	1,793
MODULO DE FINURA			3,3					



Fuente. Laboratorio Edyconst, Ingeniero Carlos Andrés Nieto L.

ANEXO B. PESADO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA DE CONCRETO.

Figura 22. Pesado del cemento.

Fuente Los Autores.

Figura 23. Pesado del agua.

Fuente Los Autores.

Figura 24. Pesado del agregado fino.

Fuente Los Autores.

Figura 25. Pesado del agregado grueso.

Fuente Los Autores.

ANEXO C. ELABORACIÓN DE CILINDROS Y VIGUETAS.

Figura 26. Elaboración de cilindros de concreto.

Fuente Los Autores

Figura 27. Elaboración de viguetas de concreto.

Fuente Los Autores.

Figura 28. Desencofrado de cilindros de concreto.

Fuente Los Autores.

Figura 29. Desencofrado de viguetas de concreto.

Fuente Los Autores.